



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KEEKONOMIAN KOMPLEKS PERUMAHAN  
BERBASIS ENERGI SEL SURYA  
(STUDI KASUS: PERUMAHAN CYBER ORCHID  
TOWN HOUSES, DEPOK)**

**SKRIPSI**

**PATRICIA HANNA J**

**0806459002**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KEEKONOMIAN KOMPLEKS PERUMAHAN  
BERBASIS ENERGI SEL SURYA  
(STUDI KASUS: PERUMAHAN CYBER ORCHID  
TOWN HOUSES, DEPOK)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**PATRICIA HANNA J**

**0806459002**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JUNI 2012**

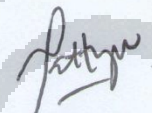
ii

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Patricia Hanna J

NPM : 0806459002

Tanda tangan : 

Tanggal : Juni 2012



## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Patricia Hanna J  
NPM : 0806459002  
Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Analisis Keekonomian Kompleks  
Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi  
Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town  
Houses, Depok)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Farizal, Ph.D.

Penguji : Arian Dhini, S.T., M.T.

Penguji : Maya Arlini Puspasari, S.T., M.T., M.B.A.

Penguji : Sumarsono, S.T., M.T.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

(*Farizal*)  
(*Arian Dhini*)  
(*Maya Arlini Puspasari*)  
(*Sumarsono*)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Pengasih, atas segala Berkat-Nya dan segala Rahmat-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat terwujud tanpa bimbingan, bantuan, dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Farizal, PhD, yang telah memberikan kesempatan untuk mengerjakan penelitian ini. Beliau juga telah banyak memberikan dukungan berupa bimbingan, motivasi, dan masukan untuk masalah yang berkaitan dengan perancangan penelitian yang baik untuk dilakukan oleh penulis dalam pembuatan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel selaku Ketua Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dan Bapak Ir. Djoko Sihono Gabriel, MT, selaku pembimbing akademik penulis.
3. Bapak Ir. Agus R. Utomo M.T yang telah turut menyumbangkan ide-ide berharganya kepada penulis selama pembuatan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Industri yang telah membimbing dan memberikan wawasan yang sangat berharga kepada penulis.
5. Kedua orang tua, kakak dan abang penulis atas kasih sayang, doa dan dukungan yang diberikan tiada henti kepada penulis.
6. Bapak Sudar selaku kontraktor yang membangun Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Bapak Supriyatna dan rekan-rekan Beliau dari PLN APJ Depok II, Bapak Adhe Irawan dari PT. Azet Surya Lestari yang sudah memberikan informasi-informasi penting kepada penulis terkait untuk penyelesaian penelitian ini.
7. Teman-teman sepeguruan: Wenty Eka Septia, Syarifuddin, Fitri Yulianti, Indah Prihastuti, Septian Yulianda, Lilis Purnamasari, dan Harumi atas kerja samanya yang tidak terganti dalam pembuatan skripsi ini.

8. Para sahabat terbaik yang selalu memberikan dukungan kepada penulis: Hendra Norman Swarshof Pardede, Lusyane Eko Tantri, Latifah Helmy, Adithya Ramadhan, Gilberta Permata, dan Angelia Sitanggang. Terima kasih atas waktu yang kalian sisihkan untuk bisa bersenang-senang bersama penulis di saat pembuatan skripsi ini berlangsung.
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal penelitian sampai selesainya skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
10. Seluruh mahasiswa Teknik Industri angkatan 2008, yang telah banyak membantu memberikan semangat dan dukungan satu sama lain dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna dikarenakan oleh keterbatasan penulis. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima kritik dan saran yang membangun sehingga skripsi ini dapat memberikan manfaat pada masyarakat luas khususnya dunia pendidikan dan industri. Semoga tulisan di dalam skripsi ini bisa memberikan tambahan pengetahuan maupun menjadi sumber informasi yang berguna bagi setiap pembaca.

Depok, Juni 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Patricia Hanna J  
NPM : 0806459002  
Departemen : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

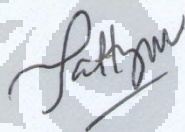
**Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya  
(Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : Juni 2012

Yang Menyatakan



(Patricia Hanna J)

## ABSTRAK

Nama : Patricia Hanna J  
Departemen : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)

Pemanfaatan teknologi sel surya sebagai sumber energi listrik di Indonesia masih belum berkembang baik padahal Indonesia terletak di garis khatulistiwa sehingga mendapat sinar matahari yang melimpah. Hal ini sangat disayangkan mengingat tingkat kebutuhan listrik yang terus meningkat terutama dari konsumen rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui teknis penggunaan panel sel surya sebagai sumber energi listrik dan tingkat kelayakan untuk diimplementasikan di perumahan tipe menengah. Ada dua jenis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang ditinjau dalam penelitian ini yaitu sistem PLTS menggunakan baterai dan tanpa baterai. Hasil penelitian menunjukkan untuk saat ini penggunaan sistem PLTS di perumahan untuk memenuhi kebutuhan listriknya tidak menguntungkan secara ekonomis. Hal ini karena tingginya biaya investasi sistem PLTS dibandingkan dengan biaya listrik yang dibeli dari sumber konvensional. Namun analisis sensitivitas yang dilakukan menunjukkan sistem PLTS menjadi layak pada beberapa kondisi.

Kata Kunci:

Sel surya, analisis kelayakan, perumahan tipe menengah, analisis sensitivitas.



## ABSTRACT

Name : Patricia Hanna J  
Department : Industrial Engineering  
Title : Economic Analysis of Residential With Solar Cell Energy:  
Case Study of Cyber Orchid Town Houses Resident in Depok

The utilization of solar cell technology as a source of electrical energy in Indonesia is still not well developed, given the fact that its location is on the equator zone with abundant sunshine. This is being regretted by also considering the increment level of demand for electricity, especially from household consumers. This study aims to determine the technical use of solar power system for sourcing the electrical energy and the feasibility for implementing the system in middle-class residential houses. Two types of solar power system which are being reviewed: stand-alone system and grid connected system. The result shows that installation of the system in a resident may not be economically rewarding due to system investment high cost compared to the electricity cost from conventional system. However, the sensitivity analysis shows the solar power systems are being economically feasible in some conditions.

Key words:

Solar cell, feasibility study, middle-class residential houses, sensitivity analysis.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.1.1 Kondisi Kelistrikan Indonesia.....	1
1.1.2 Pengembangan Sel Surya di Indonesia .....	3
1.2. Diagram Keterkaitan Masalah .....	5
1.3. Rumusan Permasalahan .....	6
1.4. Tujuan Penelitian .....	7
1.5. Pembatasan Masalah.....	7
1.6. Metodologi Penelitian.....	8
1.7. Sistematika Penulisan .....	11
<b>2. DASAR TEORI .....</b>	<b>13</b>
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	13
2.1.1 Panel Sel Surya .....	14
2.1.2 <i>Inverter</i> .....	20
2.1.3 Baterai .....	21
2.1.4 <i>Controller</i> .....	22
2.1.5 Sistem PLTS .....	23
2.1.6 Perhitungan Kapasitas Energi PLTS.....	24
2.2. Parameter-Parameter Analisa Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	27
2.2.1 <i>Net Present Value</i> .....	28
2.2.2 <i>Discounted Payback Period</i> .....	29
2.2.3 <i>Benefit Cost Ratio</i> .....	30
2.3. Perencanaan dan Perancangan Skenario Model Keuangan dalam Analisis Sensitivitas .....	32
2.3.1 Variabel Dependen dan Independen.....	32
2.3.2 Program Excel sebagai Perangkat Permodelan .....	33

2.4. Regulasi Energi Baru Terbarukan.....	33
2.4.1 Regulasi Energi Baru Terbarukan Berbagai Negara di Dunia ..	33
2.4.2 Regulasi Energi Baru Terbarukan di Indonesia.....	36
<b>3 PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>38</b>
3.1. Perumahan Cyber Orchid Town Houses.....	38
3.1.1 Profil Perumahan Cyber Orchid Town Houses .....	38
3.1.2 Sistem Kelistrikan Perumahan Cyber Orchid Town Houses.....	40
3.2. Rancangan Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	42
3.2.1 Perhitungan Rencana Area dan Jumlah <i>Array</i> PLTS .....	42
3.2.2 Komponen-komponen sistem PLTS.....	45
3.2.2.1 Modul Surya.....	45
3.2.2.2 Baterai .....	46
3.2.2.3 <i>Inverter</i> .....	48
3.2.2.4 <i>Controller</i> .....	48
3.2.3 Teknis Pemasangan dan Perhitungan Energi PLTS .....	49
3.3. Pengolahan Data Biaya Sistem PLTS .....	53
3.3.1 Biaya Investasi Sistem PLTS .....	53
3.3.2 Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan.....	54
3.3.3 Biaya Penjualan dan Pembelian Listrik.....	55
3.3.4 Pengolahan Alur Kas Sistem PLTS.....	56
<b>4 ANALISIS .....</b>	<b>65</b>
4.1. Analisis Kelayakan .....	65
4.1.1 Analisis Kelayakan Sistem PLTS Menggunakan Baterai.....	65
4.1.2 Analisis Kelayakan Sistem PLTS Tanpa Baterai.....	66
4.2. Analisis Sensitivitas .....	67
4.2.1 Perubahan Nilai NPV Alur Kas Rumah Kategori A.....	68
4.2.2 Perubahan Nilai NPV Alur Kas Rumah Kategori B .....	69
4.2.3 Perubahan Nilai NPV Alur Kas Rumah Kategori C .....	71
4.2.4 Perubahan Nilai NPV Alur Kas Rumah Kategori D.....	72
4.2.5 Pengaruh Perubahan 2 Komponen Terhadap Nilai NPV.....	75
4.2.5.1 Pengaruh Perubahan 2 Komponen Terhadap Nilai NPV Sistem PLTS Menggunakan Baterai.....	75
4.2.5.2 Pengaruh Perubahan 2 Komponen Terhadap Nilai NPV Sistem PLTS Tanpa Baterai .....	78
4.2.6 Pengaruh Perubahan Efisiensi Sistem PLTS Terhadap Nilai NPV.....	80
<b>5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>82</b>
5.1. Kesimpulan .....	82
5.2. Saran.....	83
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>84</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Daftar Pemakaian Energi Listrik Perumahan Cyber Orchid Town Houses .....	40
Tabel 3.2	Spesifikasi Panel Surya ASL-M50 .....	44
Tabel 3.3	Spesifikasi Baterai RB-S2-1180AGM .....	46
Tabel 3.4	Spesifikasi Inverter SUNNY BOY 5000TL .....	47
Tabel 3.5	Spesifikasi Controller SUNNY Backup 2200.....	48
Tabel 3.6	Perhitungan Energi PLTS Selama 1 Hari .....	49
Tabel 3.7	Perhitungan Energi PLTS Selama Satu Tahun .....	50
Tabel 3.8	Perhitungan Biaya Investasi Awal Sistem PLTS dengan Baterai....	53
Tabel 3.9	Perhitungan Biaya Investasi Awal Sistem PLTS tanpa Baterai.....	53
Tabel 3.10	Alur Kas Rumah Kategori A Sistem PLTS dengan Baterai .....	56
Tabel 3.11	Alur Kas Rumah Kategori B Sistem PLTS dengan Baterai.....	57
Tabel 3.12	Alur Kas Rumah Kategori C Sistem PLTS dengan Baterai.....	58
Tabel 3.13	Alur Kas Rumah Kategori D Sistem PLTS dengan Baterai .....	59
Tabel 3.14	Alur Kas Rumah Kategori A Sistem PLTS tanpa Baterai .....	60
Tabel 3.15	Alur Kas Rumah Kategori B Sistem PLTS tanpa Baterai .....	61
Tabel 3.16	Alur Kas Rumah Kategori C Sistem PLTS tanpa Baterai .....	62
Tabel 3.17	Alur Kas Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai .....	63
Tabel 4.1	Hasil Pengolahan Data Sistem PLTS dengan Baterai.....	64
Tabel 4.2	Hasil Pengolahan Data Sistem PLTS tanpa Baterai.....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rasio Elektrifikasi Per Wilayah di Indonesia .....	2
Gambar 1.2	Pertumbuhan Distribusi Listrik Tahun 1995-2009 .....	2
Gambar 1.3	Sasaran Bauran Energi Nasional Tahun 2025.....	4
Gambar 1.4	Diagram Keterkaitan Masalah.....	6
Gambar 1.5	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	10
Gambar 2.1	Potongan Struktur Sel Surya .....	14
Gambar 2.2	Kurva I-V .....	15
Gambar 2.3	Susunan Sel Surya.....	15
Gambar 2.4	Pengaruh Temperatur untuk Panel PV .....	17
Gambar 2.5	Pengaruh Sudut Kemiringan untuk Panel PV .....	18
Gambar 2.6	Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari untuk Panel PV.....	19
Gambar 2.7	Hubungan DOD dengan Siklus Hidup Baterai .....	22
Gambar 2.8	Sistem PLTS <i>Grid Connected</i> dengan Jaringan Listrik Konvensional .....	23
Gambar 2.9	Sistem PLTS <i>Grid Connected</i> dengan Jaringan Listrik Konvensional dan EBT .....	23
Gambar 2.10	Sistem PLTS <i>Stand-Alone</i> .....	24
Gambar 2.11	Hubungan Jaringan Listrik Panel Surya.....	25
Gambar 2.12	Keberadaan dan Target EBT di Beberapa Negara di Eropa .....	33
Gambar 3.1	<i>Site Plan</i> Perumahan Cyber Orchid Town Houses .....	37
Gambar 3.2	Tipe Rumah 40/84.....	38
Gambar 3.3	Tipe Rumah 80/90.....	38
Gambar 3.4	Denah Atap Rumah .....	41
Gambar 3.5	Grafik Insolasi Cahaya Matahari .....	42
Gambar 3.6	Panel Surya ASL-M50 .....	44
Gambar 3.7	Skema Panel Surya pada Sisi Atap Penuh .....	45
Gambar 3.8	Skema Panel Surya pada Sisi Atap Terpotong Galon Air.....	45
Gambar 3.9	Baterai RB-S2-1180AGM.....	46
Gambar 3.10	Inverter SUNNY BOY 5000TL.....	47
Gambar 3.11	Controller SUNNY Backup 2200 .....	48
Gambar 4.1	NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori A Sistem PLTS dengan Baterai.....	67
Gambar 4.2	NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori A Sistem PLTS tanpa Baterai .....	68
Gambar 4.3	NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori B Sistem PLTS dengan Baterai.....	69
Gambar 4.4	NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori B Sistem PLTS tanpa Baterai.....	69
Gambar 4.5	NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori C Sistem PLTS dengan Baterai.....	70
Gambar 4.6	NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori C Sistem PLTS tanpa Baterai.....	71

Gambar 4.7	NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai.....	72
Gambar 4.8	NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai .....	72
Gambar 4.9	NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori A Sistem PLTS dengan Baterai .....	75
Gambar 4.10	NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori B Sistem PLTS dengan Baterai.....	75
Gambar 4.11	NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori C Sistem PLTS dengan Baterai.....	76
Gambar 4.12	NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori D Sistem PLTS dengan Baterai .....	76
Gambar 4.13	NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori A Sistem PLTS tanpa Baterai .....	77
Gambar 4.14	NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori B Sistem PLTS tanpa Baterai .....	78
Gambar 4.15	NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori C Sistem PLTS tanpa Baterai .....	78
Gambar 4.16	NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai .....	79
Gambar 4.17	Perubahan Nilai NPV untuk Seluruh Kategori Rumah Sistem PLTS dengan Baterai .....	80



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

#### **1.1.1 Kondisi Kelistrikan Indonesia**

Keberadaan energi listrik dirasakan sangat penting demi terselenggaranya pembangunan nasional. Baik secara langsung maupun tidak langsung, energi listrik membantu dalam pemenuhan aktivitas sehari-hari di masyarakat. Dalam melakukan pemenuhan kebutuhan energi listrik di seluruh Indonesia, negara telah mengaturnya dengan Pasal 33 ayat (2) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia tahun 1945 yang menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat yang penyelenggaraannya dilakukan oleh pemerintah dan pemerintah daerah.

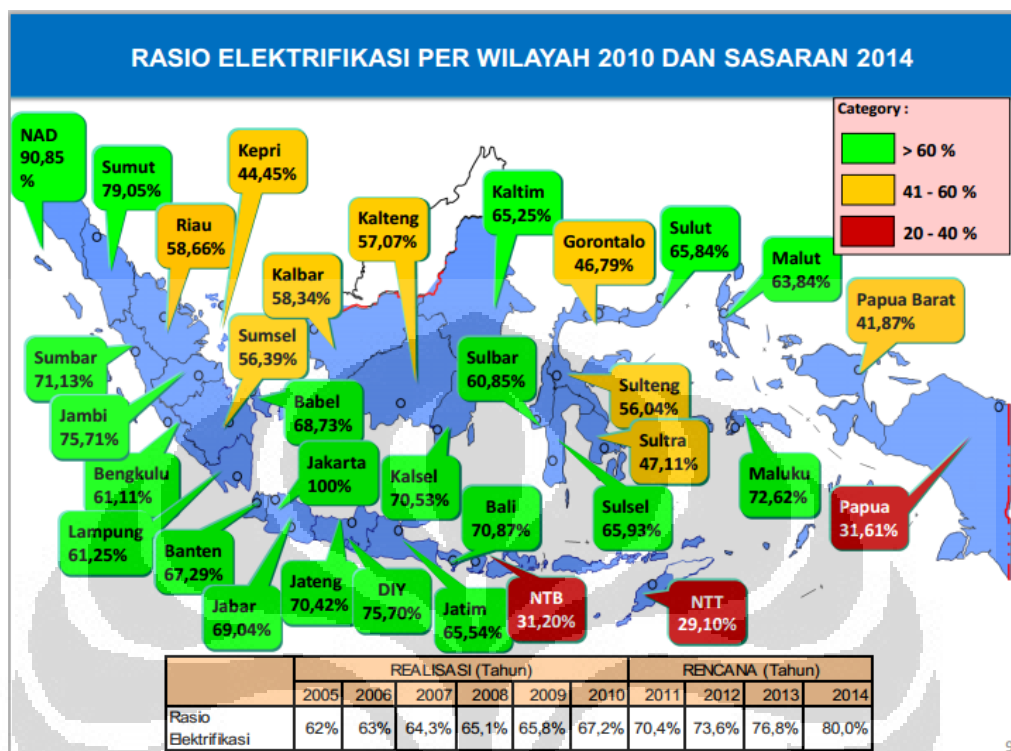
Untuk mendukung upaya tersebut, maka pemerintah memberi wewenang sepenuhnya kepada PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) untuk menyediakan dan mengatur distribusi listrik ke seluruh Indonesia guna mendukung pertumbuhan ekonomi sesuai dengan Undang-Undang No.15 tahun 1985. Tetapi pada kenyataannya, PT. PLN (Persero) masih kesulitan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik ke seluruh Indonesia. Sebanyak 63.749 keluarga di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah, belum menikmati jaringan listrik<sup>1</sup>. Sebagai tambahannya, menurut manajer cabang PLN Manokwari, Nicholas Renyaan (Kompas, 14 September 2011), baru 30% - 40% rumah tangga di Papua Barat yang telah menikmati listrik.

Sampai tahun 2011, tercatat bahwa rasio elektrifikasi nasional adalah 70,4% (DJLPE, KESDM, Januari 2012). Pengertian rasio elektrifikasi sendiri adalah tingkat perbandingan jumlah penduduk suatu negara yang menikmati listrik dengan jumlah total penduduk di negara tersebut. Angka tersebut masih lebih kecil dibandingkan dengan angka rasio elektrifikasi di negara-negara tetangga Indonesia seperti contohnya di Singapura yang sudah mencapai angka 100% serta Malaysia dan Brunei Darussalam telah melebihi angka 80% seperti

---

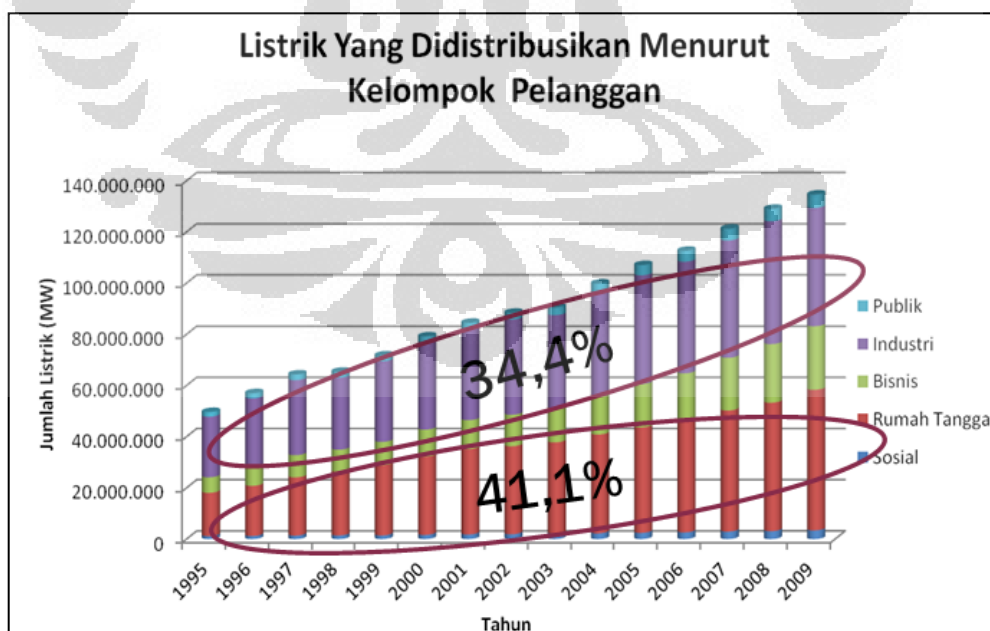
<sup>1</sup> Marcus Suprihadi. "Di Kebumen, Satu Meteran Listrik Dipakai Tiga Rumah", [www.kompas.com](http://www.kompas.com), 18 November 2011

yang dikemukakan ekonom M. Fadhil Hasan dari Institute for Development of Economics and Finance Indonesia (Media Indonesia, 20 Januari 2011).



**Gambar 1.1** Rasio Elektrifikasi Per Wilayah di Indonesia

(Sumber: Bappenas - Bidang Sarana dan Prasarana Direktur Energi dan TI, April 2011)



**Gambar 1.2** Pertumbuhan Distribusi Listrik Tahun 1995-2009

(Sumber: [http://www.bps.go.id/tab\\_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id\\_subyek=07&notab=1](http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=07&notab=1))

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 1.1 terlihat bahwa kelompok pelanggan dari rumah tangga dan industri yang merupakan konsumen terbesar energi listrik. Fakta ini didukung dengan jumlah penduduk Indonesia yang mencapai angka 237 juta dan diiringi dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,49% setiap tahunnya (BPS, 2010). Oleh sebab itu, hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk suatu negara tentu saja sejalan dengan pertumbuhan kebutuhan energi listriknya.

Masalah kelistrikan di Indonesia muncul akibat kebutuhan energi listrik yang meningkat lebih pesat dibandingkan kemampuan PT. PLN (Persero) untuk memenuhi pasokan listrik yang dibutuhkan. Permintaan tenaga listrik dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan dengan pertumbuhan rata-rata sekitar 7,2% per tahun. Sementara itu pengembangan sarana dan prasarana ketenagalistrikan khususnya penambahan kapasitas pembangkit hanya tumbuh rata-rata sebesar 5,1% per tahun (KEN, 2011).

### **1.1.2 Pengembangan Sel Surya di Indonesia**

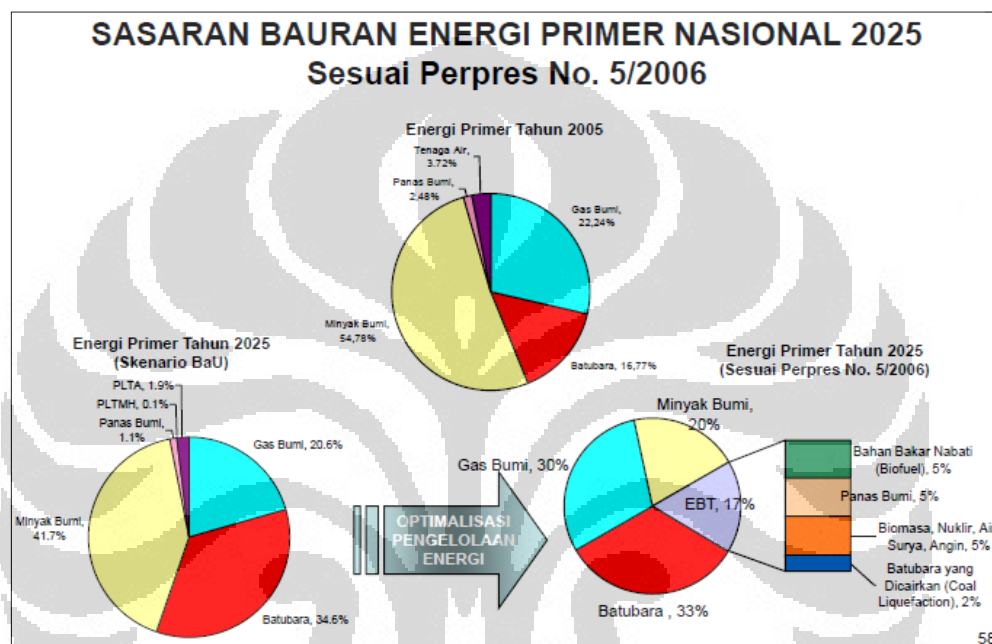
Seiring dengan pertumbuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia tentunya pemakaian energi listrik menyebabkan cadangan energi yang ada di bumi semakin berkurang. Hal ini kemudian mendorong pemerintah untuk mencari sumber-sumber energi alternatif yang bertujuan menghasilkan jumlah energi yang cukup besar dengan mutu atau kualitas yang baik namun tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Energi listrik dalam jumlah yang cukup dan dengan mutu yang baik telah menjadi kunci keberhasilan dan perkembangan yang pesat kegiatan-kegiatan industri di negara-negara maju.

Diversifikasi energi (bauran sumber energi) merupakan suatu konsep yang dapat dipergunakan sebagai cara untuk mencapai pembangunan energi dan ekonomi yang berkelanjutan. Kebijakan bauran energi menekankan bahwa Indonesia tidak boleh hanya tergantung pada sumber energi berbasis fosil, namun harus juga mengembangkan penggunaan energi terbarukan.

Untuk tahun 2025, terlihat prioritas sumber energi masih dipegang oleh batu bara. Hal ini sangatlah lumrah mengingat cadangan batubara Indonesia masih melimpah. Selain itu, harga batubara lebih murah dibandingkan dengan bahan



bakar lainnya. Namun di lain pihak, masalah utama pembangkit listrik berbahan bakar batubara adalah pembangkitan listrik ini merupakan salah satu kontributor pencemaran gas CO<sub>2</sub> yang terbesar, bahkan paling tinggi dibanding bahan bakar lainnya<sup>2</sup>. Oleh karena itu, pemerintah dengan berbagai usaha juga mencoba untuk mencari energi alternatif yang ramah lingkungan untuk pemenuhan energi sekaligus untuk mengurangi masalah pencemaran itu.



**Gambar 1.3** Sasaran Bauran Energi Nasional Tahun 2025

(Sumber: BLUEPRINT PENGELOLAAN ENERGI NASIONAL 2006 - 2025)

Tenaga surya atau *solar cell* merupakan salah satu sumber yang cukup menjanjikan di Indonesia. Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 51% dari total energi pancaran matahari. Pada siang hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt/m<sup>2</sup>. Jika sebuah alat semikonduktor (modul sel surya) seluas 1 m<sup>2</sup> memiliki efisiensi 10% maka modul sel surya ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 Watt. Saat ini efisiensi modul sel surya komersial berkisar antara 5%–15% tergantung material penyusunnya. Apabila ingin dibandingkan tenaga sel surya dengan pembangkit batu bara, maka sel surya mempunyai

<sup>2</sup> Jurnal Ekonomi dan Bisnis Vol. 8, No. 3, Desember 2009. Deni Kusumawardani, Fakultas Ekonomi, Universitas Airlangga

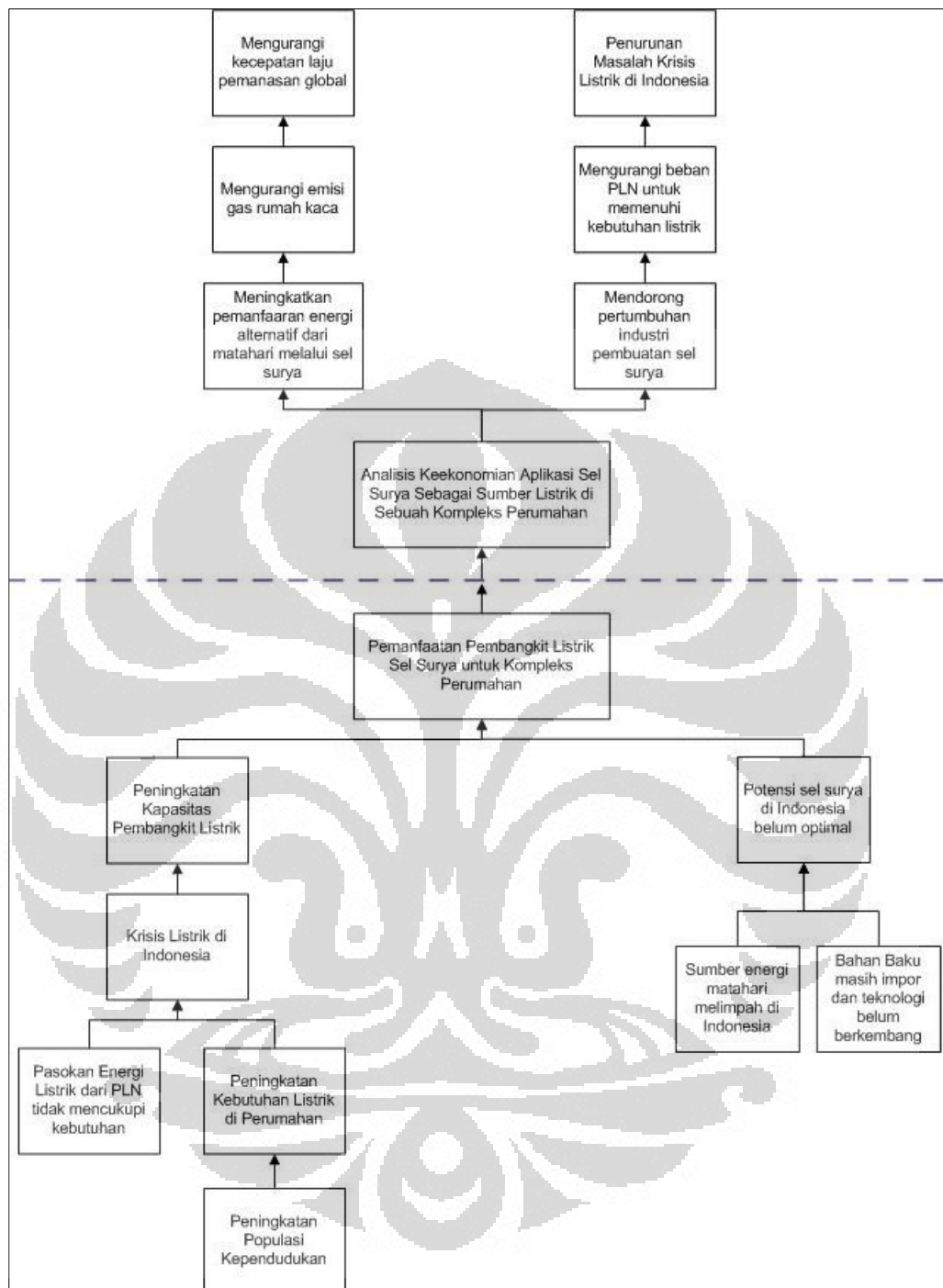
peluang mengurangi lebih dari 1 kilogram CO<sub>2</sub> untuk setiap kWh energi listrik yang dibangkitkannya.

Kendala yang dihadapi dalam pengembangan sel surya di Indonesia adalah ketersediaan teknologi untuk produksi. Indonesia masih baru memiliki industri perakitan sel surya. Bahan baku yang dibutuhkan masih impor dari negara-negara lain. Karena hal ini juga maka harga sel surya di Indonesia masih cenderung mahal. Namun melihat dari sisi sumber energi matahari yang berlimpah di Indonesia sebagai negeri khatulistiwa, sel surya juga merumpakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan tahan lama. Umur sel surya atau sering disebut juga *photovoltaic* (PV) yang dapat diaplikasikan saat ini diketahui berkisar di angka 25 tahun (Bernal-Agustin dan Dufo-Lopez, *Renewable Energy Journal* 31, 2006). Selain itu, berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup> setiap hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup> setiap hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Karena alasan inilah maka Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar.

Salah satu pemanfaatan sistem energi surya untuk tenaga listrik yang dapat langsung digunakan adalah sistem individual sel surya di rumah, gedung ataupun tempat ibadah. Sistem ini juga sering disebut dengan istilah *Solar Home System*. Aplikasi sel surya jenis ini menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari untuk konsumsi listrik sendiri.

## 1.2. Diagram Keterkaitan Masalah

Permasalahan mengenai peningkatan konsumsi tenaga listrik terutama di rumah tangga terkait dengan peningkatan jumlah penduduk, lalu kemudian permasalahan kurang berkembangnya teknologi sel surya sebagai sumber energi listrik untuk perumahan sebenarnya dapat dihubungkan satu sama lain. Hubungan itu dapat dirumuskan melalui diagram keterkaitan masalah di bawah ini.



Gambar 1.4 Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah yang telah dibahas sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah kurangnya pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi listrik di perumahan



mengingat tingkat kebutuhan listrik terus meningkat terutama dari konsumen rumah tangga, Dengan potensi cahaya matahari yang cukup tinggi di Indonesia diharapkan pemanfaatan sel surya sebagai sumber energi listrik di sebuah kompleks perumahan dapat menjadi bagian solusi yang baik untuk masalah ini. Untuk itu, diperlukan sebuah analisis keekonomian untuk melihat kelayakan dari pemanfaatan sel surya di sebuah kompleks perumahan.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui sistem dan kapasitas panel sel surya yang dapat dikembangkan untuk sumber energi listrik di kompleks perumahan Cyber Orchid Town Houses.
- Mengetahui tingkat kelayakan penggunaan pembangkit listrik tenaga sel surya sebagai sumber energi listrik untuk kompleks perumahan tersebut dengan skenario paling menguntungkan dan faktor yang paling berpengaruh dalam investasi proyek ini untuk kemudian bisa dievaluasi dalam pengembangan proyek ini untuk masa depan.

#### **1.5. Pembatasan Masalah**

Penelitian ini juga memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

- Perancangan proyek ini diarahkan pada sistem pemanfaatan energi matahari melalui panel surya terkait pemenuhan kebutuhan tenaga listrik di perumahan Cyber Orchid Town Houses.
- Studi perkiraan model keuangan untuk proyek kompleks perumahan energi mandiri menggunakan panel surya memiliki jangka waktu 25 tahun sesuai perkiraan umur sistem PLTS yang bertahan kurang lebih 20-25 tahun.
- Pemilihan lokasi penelitian di kota Depok dan tentunya data untuk perhitungannya akan menggunakan data klimatologi kota Depok. Kondisi klimatologi kota Depok diharapkan telah mewakili cuaca kota-kota lainnya di sekitar kawasan provinsi DKI Jakarta dan Jawa Barat.

- Waktu yang digunakan dalam penelitian adalah selama ada pancaran sinar matahari (berkisar antara pukul 06.00-18.00 WIB).

## 1.6. Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, ada lima tahapan utama yang dilakukan, yaitu:

### 1. Perumusan Masalah

Untuk tahap ini, Peneliti mengidentifikasi masalah sesuai dengan topik yang akan dibahas serta menentukan data-data yang dibutuhkan bersamaan dengan arahan dari dosen pembimbing.

### 2. Pemahaman Dasar Teori

Pada tahap ini, Peneliti menentukan dan menyusun dasar teori yang digunakan untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan. Dasar teori yang dibahas adalah teori ekonomi teknik, kebijakan fiskal dan sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

### 3. Pengumpulan Data

Untuk tahap ini, Peneliti mencari data-data dan informasi yang dibutuhkan secara:

- Kuantitatif, yaitu dengan menggunakan data sekunder. Data dan informasi yang diambil menggunakan metode ini dilakukan dengan membaca referensi dari jurnal, artikel, dan buku yang berhubungan dengan objek penelitian dan pengumpulan data dari perusahaan yang terkait.
- Kualitatif, yaitu dengan menggunakan data primer. Data dan informasi yang diambil melalui metode ini dengan menggunakan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dengan objek penelitian.

### 4. Pengolahan Data dan Pembuatan Model Keuangan

Dalam melakukan pengolahan data, Peneliti menggunakan alat bantu *software* Microsoft Excel untuk melakukan proses kalkulasi. Langkah-langkah yang diambil dalam tahap ini adalah sebagai berikut:

- Pengembangan model keuangan

Dalam tahap ini, Peneliti melakukan proses perancangan model keuangan dengan mendasarkan pada kebutuhan akan laporan-laporan yang berguna untuk menjawab tingkat kelayakan proyek ini. Setelah itu, Peneliti melakukan validasi untuk pengecekan kesesuaian hasil penggunaan model keuangan sehingga pada akhirnya akan diperoleh hasil yang menjawab tujuan penelitian ini.

- Uji sensitivitas

Uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui respon terhadap suatu stimulus. Respon akan ditunjukkan dengan perubahan perilaku kinerja model. Stimulus diberikan pada unsur atau struktur model dengan tujuan menjelaskan sensitivitas parameter, variabel dan hubungan variabel dalam model keekonomian kompleks perumahan energi mandiri.

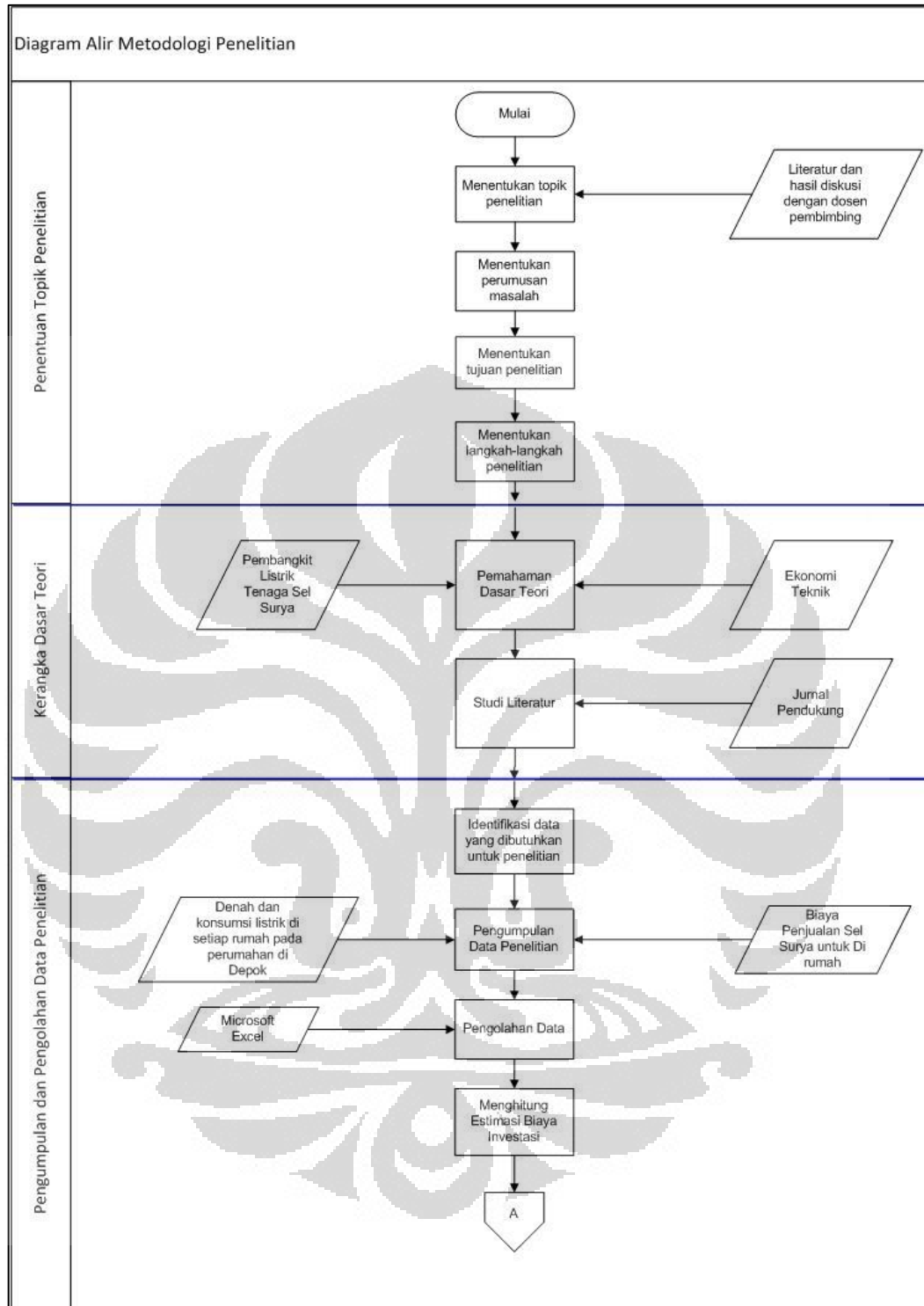
#### 5. Analisis Hasil

Pada tahap ini, penulis melakukan analisis terhadap hasil evaluasi dari seluruh perhitungan yang dilakukan. Selain itu, analisis

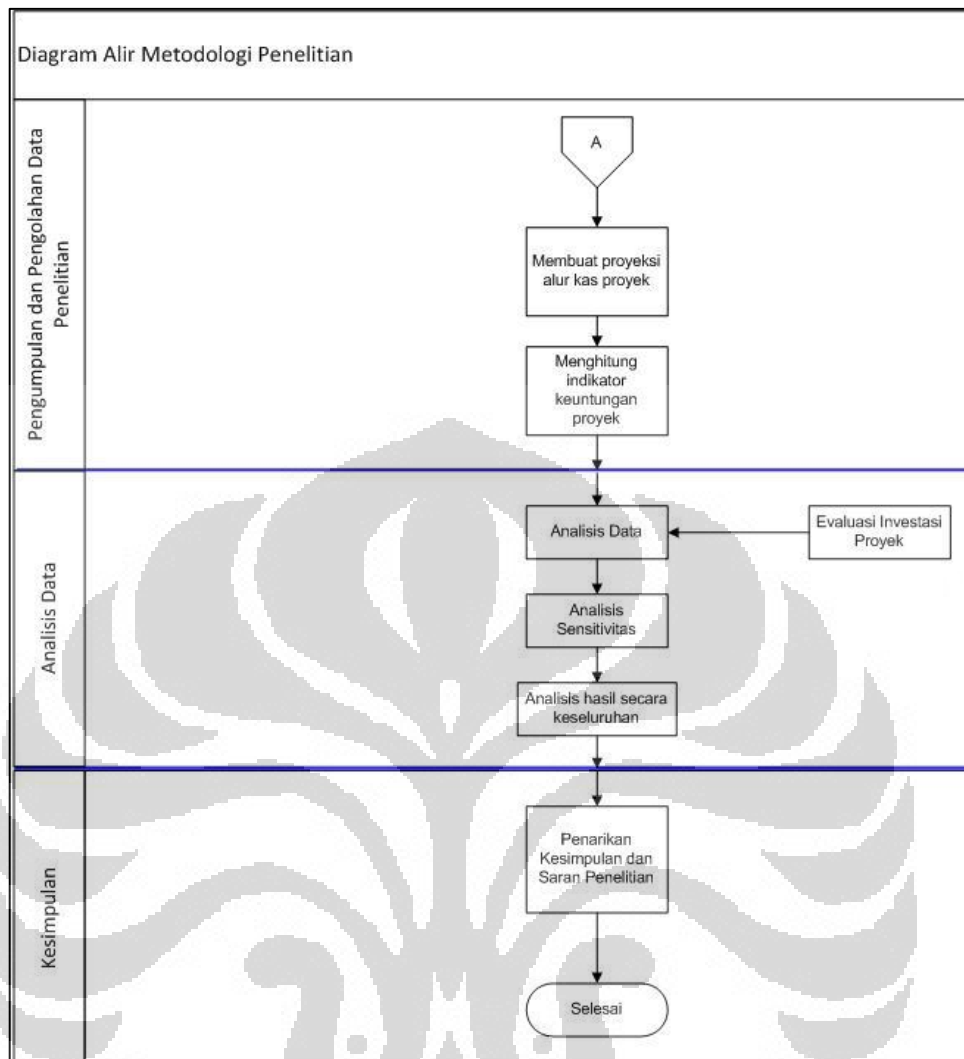
#### 6. Penarikan Kesimpulan Penelitian

Untuk tahap ini, Peneliti menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisis. Peneliti juga memberikan saran dan masukan terkait untuk perbaikan ke depannya.

Secara keseluruhan metodologi penelitian ini dapat dirumuskan melalui diagram alir metodologi penelitian seperti gambar berikut.



Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Sambungan)

### 1.7. Sistematika Penulisan

Tugas akhir mengenai implementasi sel surya sebagai sumber energi listrik di sebuah kompleks perumahan di Depok ini, akan dipaparkan ke dalam beberapa bab.

Bab 1 dalam penulisan tugas akhir ini berisikan pendahuluan penelitian. Di dalamnya terdapat penjelasan latar belakang penelitian yang menjadi bahan acuan awal penelitian, diagram keterkaitan masalah yang menggambarkan hubungan antara akar permasalahan serta solusi yang ditawarkan, perumusan permasalahan yang adalah rangkuman permasalahan yang akan diteliti, tujuan dari penelitian yang ingin dicapai, metodologi penelitian yang merupakan paparan



langkah kerja yang akan dilakukan serta sistematika penulisan yang merupakan acuan untuk melakukan penyusunan tugas akhir ini.

Bab 2 akan membahas mengenai dasar teori dari penelitian ini yaitu teori ekonomi teknik dan perancangan skenario model keuangan yang akan digunakan dalam analisis sensitivitas nantinya, kemudian juga teori mengenai sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk rumah dan teori mengenai kebijakan fiskal dari pemerintah.

Untuk bab 3 penulisan tugas akhir ini berisikan mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data yang akan dilakukan selama penelitian. Di dalam bab ini tersaji data-data hasil pencarian dari data sekunder berupa data denah kompleks perumahan dan konsumsi listrik setiap rumah, data klimatologi untuk kawasan Depok, data harga jual modul sel surya untuk rumah dan data harga konversi listrik yang dihasilkan dengan PLTS dan sumber energi umumnya (PLN).

Bab 4 merupakan pembahasan analisis dari hasil yang dikeluarkan oleh pengolahan data model keuangan. Model keuangan yang telah dibuat akan dianalisis dengan melihat analisa kelayakan proyek secara perhitungan ekonomi teknik serta analisis sensitivitas proyek untuk melihat faktor apa yang paling berpengaruh dalam proyek ini. Untuk membuat analisis sensitivitas ini, maka perlu dilakukan beberapa skenario model keuangan dengan berbagai perubahan kondisi dan situasi dari keputusan dan kebijakan.

Bab 5 dari penulisan tugas akhir ini akan berisikan hasil yang dicapai serta kesimpulan dari penelitian yang dilakukan berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data serta analisa yang telah dilakukan. Selain itu dalam bab ini juga diberikan saran serta masukan pada pihak terkait dalam penelitian ini sehingga nantinya hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berguna dan dimanfaatkan dengan optimal.

## **BAB 2 DASAR TEORI**

### **2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Pembangkit listrik berfungsi menghasilkan energi listrik melalui proses generator listrik. Energi listrik yang dihasilkan merupakan proses konversi dari sumber energi primer yang dapat berupa energi baru terbarukan (EBT) atau bahan bakar. Komponen utama dalam sistem ini adalah turbin yang berfungsi mengkonversi sumber energi primer menjadi energi mekanik, kemudian melalui alternator dapat dihasilkan energi listrik. Jenis pusat pembangkit ditentukan berdasarkan jenis sumber energi primer yang digunakan untuk menggerakkan generator maupun turbinnya, seperti contohnya PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) adalah pembangkit listrik yang bersumber energi air. Pemilihan sumber pusat pembangkit listrik sebaiknya memperhatikan beberapa aspek seperti aspek biaya modal, aspek pengoperasian, aspek efisiensi dan aspek sosial.

Oleh karena itu, setiap jenis pembangkit dinamakan berdasarkan jenis bahan baku energi yang digunakan baik bahan bakar fosil maupun energi baru terbarukan. Pusat pembangkit listrik dapat dibedakan menjadi pusat pembangkit listrik konvensional dan non konvensional. Pusat pembangkit listrik konvensional contohnya seperti PLTD (diesel), PLTU (uap), PLTA (air), PLTGU (gas dan uap), dan lainnya. Untuk pembangkit listrik non-konvensional berasal dari bahan baku EBT seperti biomassa, solar, sampah, angin dan gelombang laut.

Menurut bahasa, kata fotovoltaik berasal dari bahasa Yunani *photos* yang berarti cahaya dan *volta* yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Secara sederhana dapat diartikan sebagai listrik dari cahaya. Fotovoltaik merupakan sebuah proses untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Proses ini bisa dikatakan kebalikan dari penciptaan laser. Efek fotovoltaik pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli fisika berkebangsaan Prancis Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Baru pada tahun 1876, William Grylls Adams bersama muridnya, Richard Evans Daymenemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar. Dari percobaan tersebut, meskipun bisa dibilang gagal

karena selenium belum mampu mengonversi listrik dalam jumlah yang diinginkan, namun hal itu mampu membuktikan bahwa listrik bisa dihasilkan dari material padat tanpa harus ada pemanasan ataupun bagian yang bergerak. Tahun 1883, Charles Fritz mencoba melakukan penelitian dengan melapisi semikonduktor selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis. Fotovoltaik yang dibuatnya menghasilkan efisiensi kurang dari 1%.

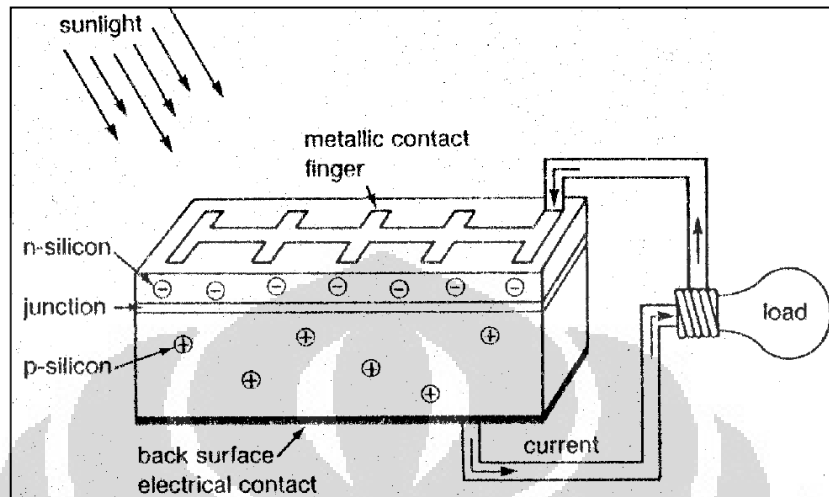
Perkembangan berikutnya yang berhubungan dengan ini adalah penemuan Albert Einstein tentang efek fotolistrik pada tahun 1904. Tahun 1927, fotovoltaik dengan tipe yang baru dirancang menggunakan tembaga dan semikonduktor copper oxide. Namun kombinasi ini jugahnya bisa menghasilkan efisiensi kurang dari 1%. Pada tahun 1941, seorang peneliti bernama Russel Ohl berhasil mengembangkan teknologi sel surya dan dikenal sebagai orang pertama yang membuat paten peranti solar cell sel surya modern. Bahan yang digunakan adalah silikon dan mampu menghasilkan efisiensi berkisar 4%. Barulah kemudian di tahun 1954, Bell Laboratories berhasil mengembangkannya hingga mencapai efisiensi 6% dan akhirnya 11%.

### **2.1.1 Panel Sel Surya**

Komponen utama sistem surya PV adalah panel surya yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya PV. Energi surya itu dapat berubah menjadi arus listrik yang searah yaitu dengan menggunakan silikon yang tipis. Sel surya tersusun dari dua lapisan semi konduktor dengan muatan berbeda. Lapisan atas sel surya itu bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Sel-sel Si itu dipasang dengan posisi sejajar dan seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik.

Bila sel-sel itu terkena sinar matahari (foton) maka beberapa foton diserap oleh atom Si yang merupakan semikonduktor dapat membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga akan menjadi elektron yang bergerak bebas. Pergerakan elektron itulah yang menjadikan adanya arus listrik searah (DC) dan pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus atau tenaga listrik itu

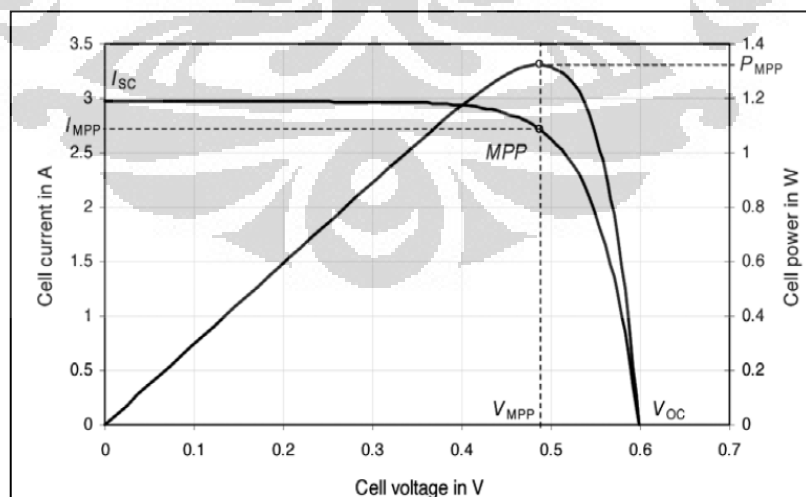
tergantung pada jumlah energi cahaya matahari yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel itu.



**Gambar 2.1** Potongan Struktur Sel Surya

(Sumber : Steven J.Strong, The Solar Electric House)

Total pengeluaran energi listrik (watt) dari sel surya adalah sama dengan tegangan (volt) dikalikan arus (ampere) yang beroperasi. Hubungan tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh sel surya ketika memperoleh penyinaran dari matahari dapat terlihat pada grafik berikut.

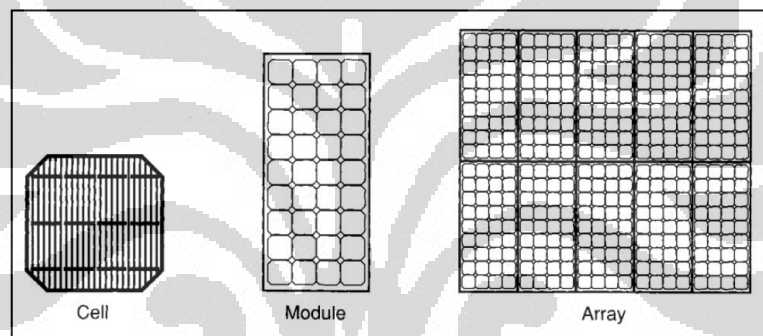


**Gambar 2.2** Kurva I-V

(Sumber: Quaschnig, Understanding Renewable Energy)

Kurva tersebut memperlihatkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik maksimal (*maximum power point*,  $M_{pp}$ ) maka akan menghasilkan daya maksimum ( $P_{M_{pp}}$ ). Tegangan di titik maksimal ( $V_{M_{pp}}$ ) lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus di titik maksimal ( $I_{M_{pp}}$ ) lebih kecil dari arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Titik  $I_{sc}$  sendiri adalah titik arus ketika tegangannya adalah nol sehingga daya yang dikeluarkan juga masih nol. Titik  $V_{oc}$  adalah titik tegangan dimana arusnya adalah nol dan daya yang dikeluarkan juga adalah nol.

Panel surya merupakan susunan dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel surya yang ingin dibuat. Gabungan dari panel-panel surya akan membentuk suatu *array* sel surya.



**Gambar 2.3** Susunan Sel Surya

(Sumber: Patel, Wind and Solar Power Systems)

Perkembangan teknologi panel sel surya sekarang ini sudah ada beberapa jenis. Jenis panel sel surya ini diklasifikasikan berdasarkan cara pembuatan panel sel surya tersebut.

- *Mono-crystalline* (Si). Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *monocrystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 16-25%.
- *Poly-crystalline/Multi-crystalline* (Si). Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel *monocrystalline* karena efisiensi panel sel surya jenis ini sekitar 14-18%, tetapi biaya pembuatannya lebih murah.



- *Gallium Arsenide* (GaAs). Sel Surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%.

Selain itu adapula pengembangan sel surya silikon terpadu atau yang biasa disebut “*thin film*”.

- *Amorphous Silicon* (a-Si). Banyak dipakai pada jam tangan dan kalkulator, sekarang dikembangkan untuk sistem bangunan terpadu sebagai pengganti *tinted glass* yang semi-transparan.
- *Thin Film Silicon* (tf-Si). Dibuat dari *thin-crystalline* atau *polycrystalline* pada *grade* bahan metal yang cukup murah (*cladding system*).
- *Cadmium Telluride* (CdTe). Terbentuk dari bahan materi *thin film* dan *polycrystalline* secara deposit, semprot, dan evaporasi tingkat tinggi. Nilai efisiensi sekitar 16%.
- *Copper Indium Diselenide* (CuInSe<sub>2</sub>/CIS). Merupakan bahan dari film tipis *polycrystalline*. Nilai efisiensi sekitar 17.7%.

Pengoperasian panel surya (PV) dalam menyerap sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik juga dipengaruhi beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

- Temperatur

Sebuah panel PV akan bekerja maksimum apabila suhu lingkungan sekitarnya berada pada angka 25°C. Kenaikan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur normal justru akan mengurangi kinerja panel PV dalam menghasilkan tegangan. Setiap kenaikan temperatur dari 1°C akan mengurangi sekitar 0,5% dari total daya yang dihasilkan (Foster dkk, 2010). Untuk menghitung besar daya panel PV yang berkurang pada saat temperatur naik 1°C maka bisa menggunakan rumus berikut:

$$P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}} = 0,5\%/^{\circ}\text{C} \times P_{\text{Mpp}} \times \text{kenaikan temperatur } (^{\circ}\text{C})$$

Keterangan:

$P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}}$  = daya keluaran panel PV pada saat temperatur naik °C dari angka 25°C

$P_{\text{Mpp}}$  = daya keluaran maksimum panel PV

Daya keluaran maksimum panel PV pada saat temperaturnya naik jadi t°C dari angka 25°C maka dapat dihitung dengan rumus berikut:

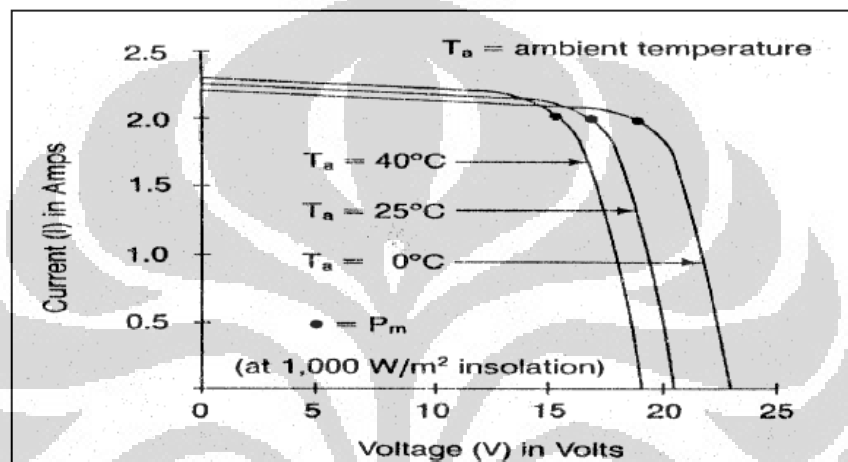
$$P_{\text{Mpp saat naik } t^{\circ}\text{C}} = P_{\text{Mpp}} - P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}}$$

Keterangan:

$P_{Mpp}$  = daya keluaran maksimal panel PV pada saat temperatur di sekitar panel surya naik menjadi  $t^{\circ}C$  dari angka  $25^{\circ}C$

Faktor koreksi temperatur (Temperature Correction Factor, TCF) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$TCF = P_{Mpp \text{ saat naik } t^{\circ}C} / P_{Mpp}$$



**Gambar 2.4** Pengaruh Temperatur untuk Panel PV  
(Sumber: Steven J.Strong, The Solar Electric House)

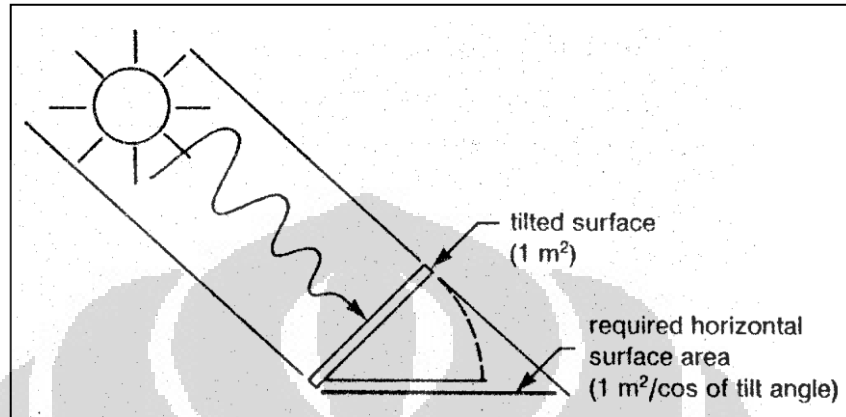
- Orientasi pemasangan panel PV

Orientasi pemasangan dari rangkaian panel PV ke arah datangnya sinar matahari adalah penting untuk diperhatikan dengan baik. Hal ini berhubungan agar panel PV dapat menghasilkan jumlah energi yang maksimum. Sinar matahari bergerak di jalur khatulistiwa. Misalnya untuk daerah yang terletak di bagian lintang utara bumi disarankan untuk menghadapkan panel PV mencedong ke arah selatan agar mendapatkan sinar matahari yang lebih maksimal; begitupun sebaliknya. Untuk daerah kota Depok yang terletak di sekitar kawasan  $6^{\circ}LS$  sebaiknya mengorientasikan pemasangan panel PV ke arah utara.

- Sudut kemiringan panel PV

Dalam pemasangan panel PV adalah penting untuk memperhatikan sudut kemiringan panel PV untuk mendapatkan sinar matahari yang lebih maksimal. Untuk sudut panel PV dengan kemiringan tetap, daya maksimum selama satu

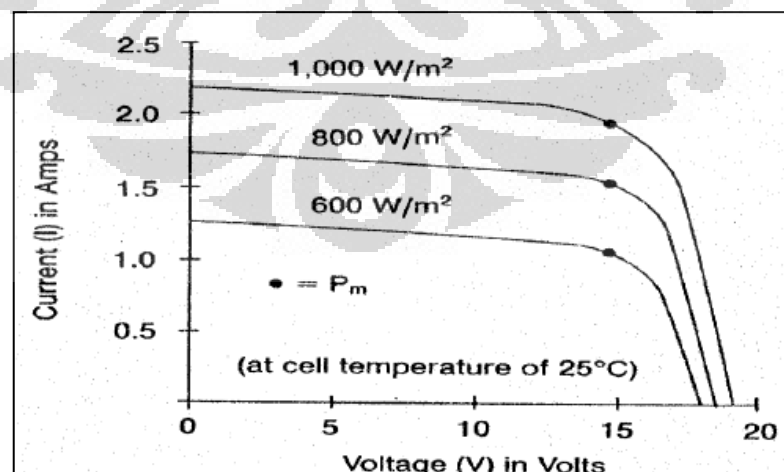
tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi (Foster dkk, 2010). Sebagai contoh, wilayah daerah di garis khatulistiwa sebaiknya memasang panel PV dengan sudut  $0^\circ$  (mendatar) untuk mendapatkan hasil yang maksimum.



**Gambar 2.5** Pengaruh Sudut Kemiringan untuk Panel PV  
(Sumber: Steven J.Strong, The Solar Electric House)

- Intensitas cahaya matahari

Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel PV akan berpengaruh pada daya keluaran panel PV. Semakin rendah intensitas cahaya matahari yang diterima panel PV maka akan semakin rendah pula arus ( $I_{sc}$ ) yang dihasilkan oleh panel PV tersebut. Tentunya hal tersebut akan menurunkan titik maksimum (*maximum power point*).



**Gambar 2.6** Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari untuk Panel PV  
(Sumber: Foster, Solar Energy Renewable Energy and the Environment)

### 2.1.2 *Inverter*

*Inverter* adalah komponen elektronika pendukung panel PV untuk mengubah arus searah (direct current, DC) menjadi arus bolak-balik (*alternating current*, AC) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan *inverter* yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri; apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi *inverter* pada saat pengoperasian adalah sekitar 90%.

Ada tiga kategori *inverter*, yaitu: *grid-tied*, *grid-tied* dengan baterai cadangan, dan *stand-alone*. Kedua jenis *inverter* yang pertama adalah *inverter line-tied*, yang digunakan dengan sistem panel surya *utility-connected*. Jenis yang ketiga adalah *stand-alone* atau *inverter off-grid*, diciptakan untuk berdiri sendiri (tidak bergantung). Penggolongan yang lain untuk *inverter* adalah jenis dari gelombangnya, yaitu:

- *Inverter* Gelombang Persegi. Sakelar unit ini langsung pada arus searah ke daya arus bolak balik "persegi" dan hanya terdapat sedikit daya tegangan kontrol, dengan kemampuan yang terbatas, dan distorsi yang harmonik. Konsekuensinya, *inverter* persegi hanya sesuai untuk pemanas beban resistif yang kecil, beberapa peralatan kecil, dan lampu pijar. *Inverter* ini tidak mahal dan dapat membakar motor pada peralatan dan tidak digunakan untuk sistem residen.
- *Inverter* Gelombang Persegi Modifikasi. *Inverter* jenis ini menggunakan *Field Effect Transistors* (FET) atau *silicon-controlled rectifiers* (SCR) untuk sakelar arus searah dan arus bolak balik serta dapat menangani *surge* (pergerakan seperti gelombang) dan menghasilkan daya dengan sedikit *harmonic distortion*. Gaya *inverter* ini lebih cocok untuk menjalankan berbagai variasi muatan, termasuk motor, cahaya, dan peralatan elektronik seperti televisi dan stereo.
- Gelombang Sinus. *Inverter* ini berfungsi untuk mengoperasikan perangkat elektronik sensitif yang memerlukan kualitas tinggi *waveform* dan di ciptakan khusus untuk memproduksi daya dengan sedikit *harmonic distortion* juga digunakan dalam penerapan *grid-tied*. Terdapat beberapa

*inverter* pada penerapan residential dan mempunyai banyak kelebihan dari *inverter* gelombang persegi yang dapat dimodifikasi.

### 2.1.3 Baterai

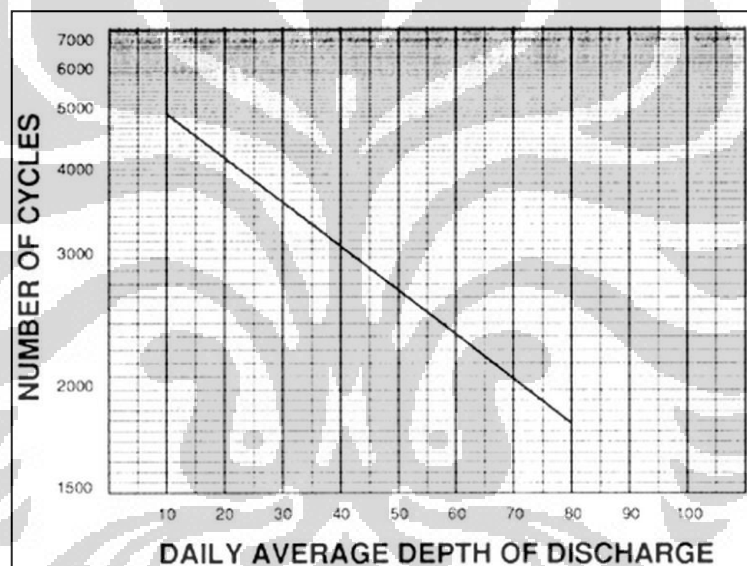
Komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari penyerapan sinar matahari oleh panel surya adalah baterai. Energi listrik yang disimpan di dalam baterai dapat berguna untuk tetap menyediakan energi listrik saat cahaya matahari tidak terpancarkan secara maksimal seperti saat langit mendung atau hujan dan di malam hari. Baterai yang digunakan untuk PLTS mengalami proses siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama ada sinar matahari maka panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya melebihi kebutuhan energi listrik maka kelebihan energi listrik itu akan disimpan dalam baterai. Sebaliknya, saat kebutuhan energi listrik melebihi dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya maka cadangan energi dari baterai dapat diberikan untuk memenuhi kekurangan energi listrik.

Ada dua jenis baterai isi ulang yang bisa digunakan dalam sistem PLTS yaitu baterai asam timbal (*lead acid*) dan baterai *nickel-cadmium*. Baterai jenis *nickel-cadmium* ini lebih sedikit digunakan dalam sistem PLTS karena baterai jenis ini memiliki efisiensi yang rendah dan biaya yang lebih tinggi. Sedangkan untuk baterai jenis asam timbal lebih banyak digunakan dalam sistem PLTS karena memiliki efisiensi tinggi dan biayanya lebih murah dibandingkan jenis baterai *nickel-cadmium*. Baterai jenis asam timbal akan menjadi perangkat penyimpanan dalam sistem PLTS yang diperkirakan masih digunakan untuk tahun-tahun berikut terutama untuk sistem PLTS ukuran menengah dan besar (Messenger dan Vetre, 2005).

Umumnya kapasitas baterai itu dinyatakan dalam Ampere-hour (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan arus yang dapat dilepaskan dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan arus tersebut. Sebagai contoh dari teori ini misalnya baterai dengan kriteria 2V dan 800 Ah. Baterai tersebut akan mampu memberikan arus yang terbaik sebesar 800 A dalam 1 jam, 400 A dalam 2 jam, atau 16 A dalam 50 jam. Selain itu, penting untuk memperhatikan ukuran hari-hari otonomi

dalam mendesain kapasitas baterai yang ingin digunakan dalam sistem PLTS (Polar Power Inc, 2011).

Suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman pengosongan maksimum, diberlakukan untuk baterai. Tingkat kedalaman pengosongan baterai (*depth of discharge*) biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%. Hal ini berarti bahwa hanya 80% dari energi listrik yang tersedia yang dapat diberikan untuk digunakan namun sisa 20% tetap berada di dalam cadangan. Pengaturan DOD berperan dalam menjaga usia pakai (*life time*) dari baterai tersebut. Apabila DOD yang diberlakukan dalam suatu baterai semakin dalam maka akan semakin cepat siklus hidup dari baterai tersebut.



**Gambar 2.7** Hubungan DOD dengan Siklus Hidup Baterai

(Sumber: <http://polarpowerinc.com/info/operation20/operation25.htm#2.5.1>)

#### 2.1.4 Controller

*Controller* atau sering dikenal dengan *charge controller* adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam sistem PLTS untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). Alat ini juga mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah terisi penuh dengan cadangan energi listrik maka penyaluran energi listrik dari panel akan dapat dihentikan secara otomatis. Cara alat ini mendeteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai.



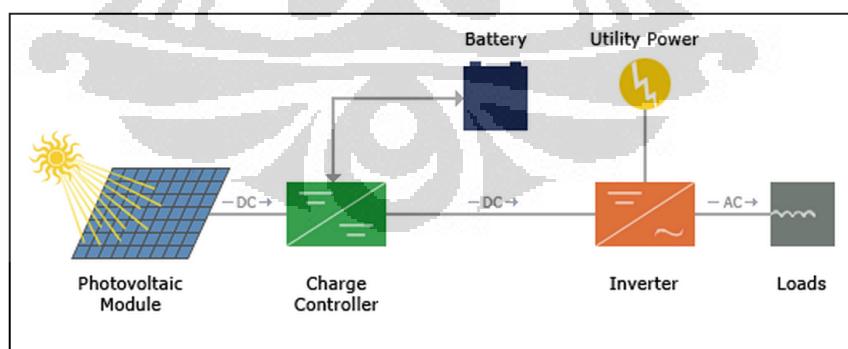
*Controller* dapat mengisi baterai sampai pada level tegangan tertentu kemudian saat level tegangan telah mencapai titik terendah maka baterai akan dapat diisi kembali. Alat ini sebagai indikator yang akan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga pengguna PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat di dalam baterai.

### 2.1.5 Sistem PLTS

Pada umumnya sistem PLTS terbagi menurut konfigurasi komponennya. Sistem PLTS yang dikenal secara luas ada 2 jenis yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik lainnya dalam memenuhi energi listrik di satu tempat (*grid connected*). Sistem PLTS jenis kedua adalah sistem PLTS yang berdiri sendiri dalam memenuhi energi listrik di satu tempat (*stand-alone*).

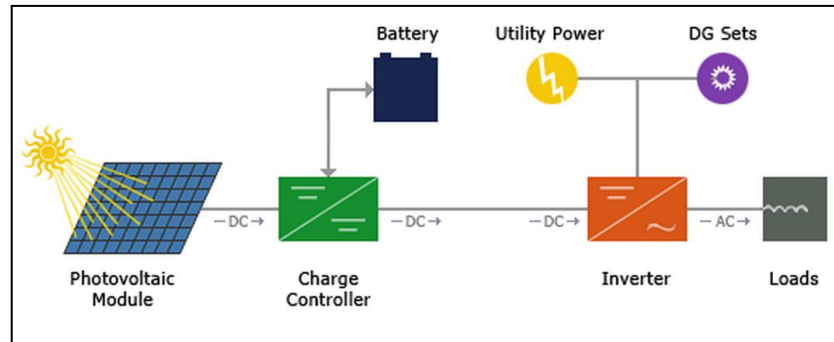
- *PLTS Grid Connected*

Pengertian sistem PLTS jenis *grid connected* adalah penggabungan sistem PLTS dengan jaringan listrik lainnya, baik jaringan listrik konvensional maupun jaringan listrik dari sistem energi baru terbarukan. Komponen yang paling berperan penting dalam sistem ini adalah *inverter (power conditioning unit)*. *Inverter* ini berfungsi untuk mengubah arus DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus AC yang disesuaikan dengan persyaratan sesuai jaringan listrik yang terhubung dengan sistem PLTS.



**Gambar 2.8** Sistem PLTS *Grid Connected* dengan Jaringan Listrik Konvensional

(Sumber: [http://www.synergyenviron.com/resources/solar\\_photovoltaic\\_systems.asp](http://www.synergyenviron.com/resources/solar_photovoltaic_systems.asp))

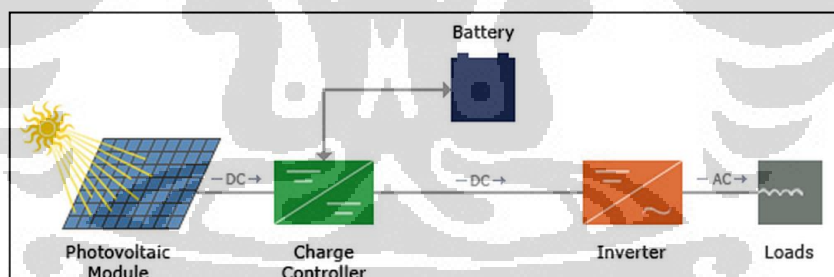


**Gambar 2.9** Sistem PLTS *Grid Connected* dengan Jaringan Listrik Konvensional dan EBT

(Sumber: [http://www.synergyenviron.com/resources/solar\\_photovoltaic\\_systems.asp](http://www.synergyenviron.com/resources/solar_photovoltaic_systems.asp))

- *PLTS Stand Alone*

Sistem PLTS *stand alone* adalah jenis sistem PLTS yang dirancang untuk beroperasi untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di satu tempat. Dengan kata lain, jenis sistem pembangkit listrik hanya diaktifkan dari satu jaringan listrik yaitu sistem panel sel surya. Komponen yang paling berperan penting dalam sistem PLTS *stand alone* adalah baterai karena alat ini dipakai untuk penyimpanan dan penyaluran cadangan energi listrik yang dihasilkan.



**Gambar 2.10** Sistem PLTS *Stand-Alone*

(Sumber: [http://www.synergyenviron.com/resources/solar\\_photovoltaic\\_systems.asp](http://www.synergyenviron.com/resources/solar_photovoltaic_systems.asp))

### 2.1.6 Perhitungan Kapasitas Energi Listrik PLTS

Kapasitas energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS adalah gabungan dari kapasitas setiap komponen dalam sistem PLTS. Daya (*watt peak*) yang dapat dibangkitkan oleh sebuah sistem PLTS dalam menghasilkan energi listrik dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini (Ahmad, 2003).

$$\frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} = PV \text{ Area}$$

Keterangan:

$E_L$  = pemakaian energi (kWh/hari)

$G_{av}$  = insolasi cahaya harian matahari (kWh/m<sup>2</sup>)

$\eta_{pv}$  = efisiensi panel surya (%)

TCF = temperature correction factor

$\eta_{out}$  = efisiensi sistem keseluruhan panel surya (baterai dan inverter)

PV Area = area panel surya (m<sup>2</sup>)

Dari perhitungan PV area di atas, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (watt peak) dapat dihitung dengan rumus di bawah ini (Ahmad, 2003).

$$P_{peak\ power} = PV\ area \times PSI \times \eta_{pv}$$

Keterangan:

$P_{peak\ power}$  = daya yang dibangkitkan (wp)

PSI = peak solar insolation (1000 w/m<sup>2</sup>)

Selanjutnya untuk mendapatkan angka jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus berikut:

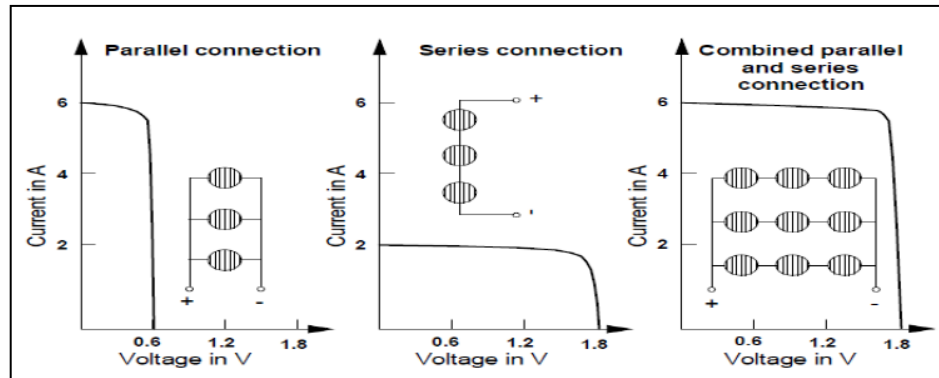
$$\frac{P_{peak\ power}}{P_{MPP}}$$

Keterangan:

$P_{MPP}$  = daya maksimum keluaran (output) dari satu panel surya (wp)

Untuk memperoleh besar tegangan, arus dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, maka panel-panel surya tersebut harus dikombinasikan sedemikian rupa dalam pemasangannya baik secara seri maupun secara paralel. Adapun ketentuannya adalah sebagai berikut:

- Untuk memperoleh tegangan yang keluar dari panel menjadi lebih besar surya maka dua buah (lebih) panel surya harus dihubungkan secara seri.
- Untuk memperoleh arus yang keluar dari panel menjadi lebih besar maka dua buah (lebih) panel surya harus dihubungkan secara paralel.
- Untuk memperoleh daya yang keluar dari panel menjadi lebih maksimal dan dalam tegangan yang konstan maka panel-panel surya harus dihubungkan secara seri dan paralel.



**Gambar 2.11** Hubungan Jaringan Listrik Panel Surya

(Sumber: Kaltschmitt, Renewable Energy)

- Kapasitas Baterai

Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian menurut Ahmad (2003) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{battery storage} = \frac{N_c \times E_L}{DOD \times \eta_{pv}}$$

Keterangan:

$N_c$  = hari mendung selama 1 minggu

$DOD$  = kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai

- Kapasitas *Inverter*

Untuk mendapatkan *inverter* yang baik dalam sistem PLTS, diusahakan untuk memilih kapasitas *inverter* yang sesuai dengan kapasitas daya PLTS yang akan diterimanya. Hal ini penting untuk diperhatikan agar efisiensi kerja *inverter* dapat menjadi maksimal (Foster, 2010)

- Kapasitas *Charge Controller*

*Charge controller* diperlukan untuk melindungi baterai dari pengosongan dan pengisian yang berlebih. Daya masukan atau keluaran yang diterima *charge controller* hendaknya disesuaikan dengan arus keluaran dari panel surya ( $I_{MPP}$ ) dan tegangan baterai ( $V_B$ ) (Messenger dan Ventre, 2005).

## 2.2. Parameter-parameter Analisa Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Saat seseorang ingin melakukan investasi sebuah proyek, maka orang tersebut melihat kepada kondisi saat ini dan berharap dari proyek yang akan dijalankan akan mendapatkan peningkatan kesejahteraan (keuntungan) di masa mendatang. Sehingga saat berbicara mengenai pengembalian dari investasi maka hal yang menjadi perhatian adalah hasil perubahan dari keuntungan yang didapat. Menurut Frank Reilly dan Keith C. Brown, durasi waktu terjadinya investasi adalah sebagai waktu penanaman modal (*holding period*). Jadi, periode pengembalian penanaman modal itu dinamakan HPR (*Holding Period Return*) yang memiliki persamaan perhitungan di bawah ini.

$$\frac{\text{nilai akhir investasi}}{\text{nilai awal investasi}} = HPR$$

Nilai HPR yang didapatkan akan selalu lebih besar dari atau sama dengan 0 (nol) dan tidak negatif. Bila nilai HPR yang didapat lebih besar dari 1 (satu) maka hal tersebut berarti terjadi peningkatan kesejahteraan (keuntungan) untuk orang itu terkait dengan proyek yang direncanakannya. Sebaliknya bila nilai HPR yang didapatkan lebih kecil dari 1 atau 0 (nol), hal tersebut berarti orang itu tidak akan mendapatkan keuntungan dari proyek yang direncanakannya itu karena orang tersebut akan kehilangan semua uangnya selama masa investasi proyek.

Jika melihat kepada rumus yang ada, maka nilai dari HPR ada perubahan yang terjadi sepanjang periode investasi. Namun, biasanya investor menginginkan untuk mengetahui persentase yang didapatkan per tahunnya untuk dapat mengevaluasi kinerja investasi yang dilakukannya. Oleh karena itu, HPR harus dikonversi menjadi *annual HPY (holding period yield)* atau dapat didefinisikan sebagai pencapaian per tahunnya. Perlu diingat bahwa terdapat asumsi saat mengkonversi ke dalam bentuk tahunan. Konversi yang dilakukan mengasumsikan bahwa terjadi pencapaian yang konstan pada setiap rentang waktu investasi.

$$\text{Annual HPY} = HPR^{1/n}$$

Keterangan:

n = jumlah tahun investasi yang dilakukan

Perbandingan yang tepat antara keseluruhan penerimaan di masa mendatang dengan keseluruhan pengeluaran di masa sekarang maupun di masa mendatang adalah hal yang penting untuk diperhatikan karena ada perbedaan nilai mata uang sepanjang waktu yang dihitung. Ketidakseimbangan ini bisa diatasi dengan menggunakan konsep nilai waktu uang (*time value of money*). Dari konsep itu maka seluruh penerimaan maupun pengeluaran proyek yang diperkirakan ada di masa mendatang dihitung dengan memberi tambahan *present worth factor* sehingga nilai masa mendatang itu dapat terlihat di masa sekarang dan dapat dibandingkan di masa sekarang.

*Present worth factor* yang digunakan dalam perhitungan nilai investasi proyek dapat menggunakan tingkat suku bunga pasar (tingkat suku bunga bank). Adapun rumus untuk menghitung *present worth factor* adalah seperti berikut.

$$\frac{1}{(1+r)^n} = DF$$

Keterangan:

DF = discount factor

r = tingkat diskonto

n = periode dalam tahun (umur investasi)

### 2.2.1 *Net Present Value*

*Net Present Value* (NPV) adalah sebuah nilai yang menunjukkan jumlah yang akan dihasilkan dari sebuah investasi. NPV diukur dengan menjumlahkan semua alur kas sepanjang waktu dari periode nol atau yang disebut investasi (bernilai negatif) hingga periode terakhir. Nilai alur kas yang dihitung untuk mendapatkan NPV adalah penjumlahan nilai uang di periode nol atau yang dikenal dengan *present value* dengan nilai alur kas bersih (pemasukan dikurangi pengeluaran) yang dihitung menggunakan *present worth factor* sebagai patokan dalam mencari nilai yang seimbang dari nilai yang ada di masa sekarang.

Metode NPV merupakan metode yang paling banyak dipakai karena tingkat perhitungan metode ini lebih sederhana dan mudah untuk bisa membandingkan beberapa alternatif dalam perhitungan investasi sebuah proyek. Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan metode ini adalah:



$$\sum_{n=1}^n \left( \frac{NCFt}{(1+r)^n} \right) + II = NPV$$

Keterangan:

II = investasi awal proyek

r = tingkat diskonto

NCFt = alur kas bersih setiap tahunnya

Keterangan pengambilan keputusannya adalah sebagai berikut:

- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah 0 maka itu berarti dalam sepanjang periode perhitungan investasi yang dilakukan maka proyek tersebut telah memberikan hasil yang sebanding dengan nilai investasi yang dikeluarkan.

### 2.2.2 *Discounted Payback Period*

*Payback period* adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. *Discounted payback period* (DPP) adalah periode pengembalian uang yang dihitung dengan menggunakan *discount factor*. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa tahun alur kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal.

Kriteria pengambilan keputusan apakah proyek yang ingin dijalankan layak atau tidak layak untuk metode ini adalah:

- Investasi proyek akan dinilai layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek.
- Investasi proyek belum dinilai layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek.

### 2.2.3 *Benefit Cost Ratio (BCR)*

*Benefit Cost Ratio (BCR)* adalah salah satu metode yang sering digunakan sebagai analisis tambahan dalam rangka validasi hasil evaluasi yang telah dilakukan dengan metode lain. Metode ini sangat baik dilakukan dalam rangka mengevaluasi proyek-proyek pemerintah yang berdampak langsung pada masyarakat banyak (*Public Government Project*). *Benefit* yang akan diperoleh adalah taksiran kuantitas produk dikalikan dengan rencana harga jual tiap unit, kemudian dibandingkan dengan taksiran biaya (*cost*) yang akan digunakan. Dalam biaya termasuk depresiasi dari proyek (harga tetap).

Untuk tujuan itu perlu dilakukan riset pasar (*market research*) sehingga diperoleh gambaran mengenai:

- Keadaan pasar untuk input maupun output.
- Perbedaan biaya (*Comparative Cost*)
- Keadaan persaingan (*degree of competition*)
- Faktor non-ekonomi lainnya yang dapat berpengaruh terhadap rencana pemasaran psikologis, sosiologi, politis, dll.

Selain itu, juga penting diteliti dan dinilai mengenai biaya operasi perusahaan (*operation cost*) yang sangat berpengaruh untuk menetapkan harga jual produk.

Produk yang berkualitas memiliki 2 kriteria sebagai berikut:

1. Kualitas, dan
2. Perbandingan harga produk yang dihasilkan dengan harga produk yang dihasilkan dengan harga produk yang sama yang dihasilkan oleh perusahaan lain.

Menurut Drs. M. Giatman, MSIE (2005) *Benefit* merupakan manfaat yang diperoleh atau dihasilkan dari suatu kegiatan yang produktif. *Benefit* yang akan diperoleh mungkin sama tiap-tiap periode dan mungkin juga bisa berbeda. Maka dalam disiplin penelitian dan penilaian proyek, *benefit* diperlakukan sebagai *benefit* tetap (*fixed benefit*) maupun *benefit* variabel (*variable benefit*). *Fixed benefit* merupakan *benefit* dengan data yang sama besarnya untuk tiap-tiap periode selama umur teknis proyek yang akan dibangun. Sedangkan *Variable*

*benefit* merupakan *benefit* dengan data yang berbeda untuk setiap periode selama umur ekonomis proyek tersebut.

Secara terinci, aspek-aspek tersebut juga mempertimbangkan dampak penerapan suatu program dalam masyarakat baik secara langsung (*direct impact*) maupun tidak langsung (*undirect impact*), faktor eksternalitas, ketidakpastian (*uncertainty*), dan resiko (*risk*). Oleh karena itu dikenal dengan istilah *direct benefit* dan juga *indirect benefit*. *Direct Benefit* merupakan manfaat yang diperoleh sebagai manfaat langsung dari proyek yang bersangkutan (merupakan tujuan utama). Sedangkan *Indirect Benefit* merupakan benefit yang diperoleh sebagai manfaat tak langsung dari proyek yang bersangkutan (bukan tujuan utama).

Sementara itu, biaya yang ditimbulkan dengan adanya proyek tersebut juga tidak hanya biaya langsung seperti investasi, perawatan, dan operasional, melainkan terdapat biaya tidak langsung seperti yang harus dikeluarkan oleh masyarakat yang sering disebut dengan kerugian (*Disbenefit*) yaitu dampak negatif dari suatu investasi terhadap dampak perubahan lingkungan, dll.

Metode *Benefit-Cost Ratio* ini memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (*benefit*) yang akan diperoleh dengan aspek biaya (*cost*) dan investasi (*investment*) yang akan ditanggung dengan adanya investasi tersebut.

Dalam melakukan perhitungan *Cost Benefit* digunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Rumus Umum BCR} = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} \text{ atau } \frac{\sum \text{Benefit}}{\sum \text{Cost}}$$

$$\text{Jika analisis dilakukan terhadap present: BCR} = \frac{PWB}{PWC} \text{ atau } \frac{\sum_{t=0}^n Cb_t (FBP)_t}{\sum_{t=0}^n Cc_t (FBP)_t}$$

$$\text{Jika analisis dilakukan terhadap annual: BCR} = \frac{EUAB}{EUAC} \text{ atau } \frac{\sum_{t=0}^n Cb_t (FBA)_t}{\sum_{t=0}^n Cc_t (FBA)_t}$$

Dari persamaan diatas, bisa diketahui nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR). Jika *B/C Ratio* lebih besar dari 1, maka manfaat (*benefit*) yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek lebih dari biaya (*cost*) dan investasi (*investement*), sehingga

proyek tersebut baik (*favourable*). Dan jika *B/C Ratio* kurang dari 1, maka benefit yang dihsilkan selama umur ekonomis proyek tidak cukup untuk menutupi *cost* dan *investment*, sehingga proyek disebut tidak baik (*unfavourable*). Namun apabila *B/C Ratio* sama dengan 1, maka benefit yang diperoleh selama umur ekonomis hanya dapat menutupi *cost* dan *investment* selama umur ekonomis proyek.

### **2.3. Perencanaan dan Perancangan Skenario Model Keuangan dalam Analisis Sensitivitas**

Model keuangan dirancang untuk mewakili hubungan antara variabel-variabel dalam alur kas keuangan sehingga dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan “bagaimana jika” ataupun untuk membuat proyeksi. Beberapa solusi *spreadsheet* yang diciptakan dapat menangkap hubungan-hubungan tersebut dengan baik dan pada akhirnya dapat menjawab pertanyaan “bagaimana jika” tersebut sampai batas tertentu.

Dalam menciptakan model-model keuangan adalah penting untuk diingat bahwa tujuan utama adalah untuk menangkap saling ketergantungan di antara variabel-variabel model keuangan sebanyak mungkin. Selain itu, struktur model yang dapat menjawab pertanyaan “bagaimana jika” juga penting untuk diperhatikan, yaitu, perubahan nilai-nilai independen variabel dan pengamatan bagaimana nilai-nilai itu mempengaruhi nilai-nilai dependen variabel kunci.

#### **2.3.1 Variabel Dependen dan Independen**

Tujuan dari model keuangan adalah untuk menghitung nilai-nilai tertentu dari variabel dependen untuk nilai-nilai yang diberikan oleh variabel independen. Untuk itu, tentunya penting untuk bisa memahami perbedaan antara variabel independen dan variabel dependen.

Model keuangan dibuat untuk dapat mengamati bagaimana nilai *output* akan berubah dengan perubahan nilai-nilai dari satu atau lebih variabel independen. Variabel independen yang sering disebut juga dengan variabel masukan atau variabel eksternal, biasanya merupakan variabel yang dirubah secara sistematis. Sedangkan variabel dependen adalah variabel yang nilainya

dihitung oleh model akibat adanya perubahan variabel independen. Dengan kata lain, variabel dependen adalah variabel yang nilainya ingin ditentukan jika pembuat model bertanya pertanyaan “bagaimana jika”.

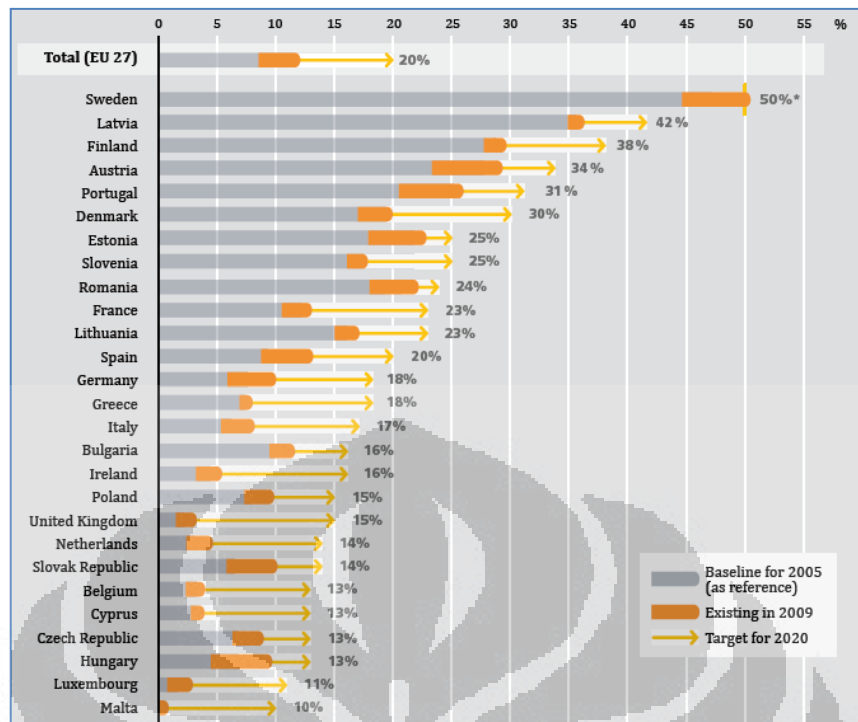
### **2.3.2 Program Excel sebagai Perangkat Permodelan**

Pada tahun 1990-an, saat perangkat komputer yang tersedia masih memiliki keterbatasan dalam kecepatan dan memori, maka program Excel masih dianggap tidak cukup kuat untuk mendukung pembuatan model keuangan yang baik. Namun seiring berkembangnya zaman dan teknologi, akhirnya Excel telah dianggap menjadi salah satu alat pilihan untuk membuat model keuangan secara komputasional dan lebih intensif. Keunggulan Excel untuk pembuatan model keuangan sangat jelas bahwa dengan Excel, pembuat model dapat menghasilkan *output* yang baik dengan pekerjaan yang tidak terlalu rumit.

## **2.4. Regulasi Energi Baru Terbarukan**

### **2.4.1 Regulasi Energi Baru Terbarukan Berbagai Negara di Dunia**

Regulasi untuk mempromosikan energi baru terbarukan (EBT) telah ada dan menjadi perhatian di beberapa negara di dunia pada tahun 1980-1990an, tetapi regulasi EBT sendiri mulai banyak muncul di beberapa negara di dunia di tahun 1998-2005 (REN21, 2011). Untuk lebih meningkatkan peran EBT pada bauran konsumsi energi akhir, maka beberapa negara di dunia telah menetapkan persentase target kebijakan penggunaan EBT hingga tahun 2020.



**Gambar 2.12** Keberadaan dan Target EBT di Beberapa Negara di Eropa

(Sumber: Renewables 2011 GLOBAL STATUS REPORT, REN21)

Upaya lain yang dilakukan oleh berbagai negara di dunia untuk mendorong pengembangan dan pemanfaatan sumber EBT adalah dengan menggunakan kebijakan *feed-in-tariff*. Mekanisme kebijakan ini dirancang dengan menempatkan kewajiban kepada perusahaan listrik negara untuk membeli listrik dari produsen EBT dengan harga yang ditetapkan oleh pemerintah setempat. Tujuan dari kebijakan *feed-in-tariff* adalah untuk memberikan kepastian harga dan kompensasi biaya dalam kontrak jangka panjang kepada produsen EBT sehingga hal tersebut akan membantu membiayai investasi EBT yang telah dilakukan. Di beberapa negara penetapan *feed-in-tariff* biasanya dilakukan dengan berdasarkan biaya pembangkit dari setiap penggunaan teknologi yang berbeda dan kualitas sumber daya lokal.

Jerman adalah salah satu negara yang paling sukses menerapkan *feed-in-tariff* dalam pengembangan EBT. Negara ini mulai menerapkan kebijakan *feed-in-tariff* pada tahun 1990, akan tetapi kebijakan yang ditetapkan saat itu belum efektif untuk mendorong pengembangan sumber EBT dengan teknologi mahal seperti energi surya fotovoltaik. *Feed-in-tariff* tahun 1990 tersebut kemudian

mengalami restrukturisasi pada tahun 2000 dengan beberapa perubahan seperti: harga pembelian energi ditetapkan berdasarkan biaya pembangkitan dan jaminan pembelian yang diperpanjang untuk periode 20 tahun. Karena terbukti efektif mempercepat pengembangan sumber EBT maka *feed-in-tariff* tahun 2000 ini kemudian diamanatkan oleh pemerintah Jerman pada tahun 2004. Energi surya fotovoltaik adalah salah satu EBT yang mengalami perkembangan sangat pesat di Jerman. Hal ini terlihat dari besarnya peningkatan kapasitas daya terpasang energi surya fotovoltaik di negara tersebut yaitu dari 2,6 GW di tahun 2006 menjadi 9,8 GW di tahun 2009 (REN21, 2011).

Pemberian subsidi terhadap industri EBT di beberapa negara telah membuat pertumbuhan energi ini menjadi cukup signifikan. Salah satu EBT yang saat ini mengalami perkembangan cukup pesat adalah energi surya. Pemberian subsidi terhadap industri energi surya ini telah membuat penurunan biaya produksi per Wp (*watt peak*). Sebagai contohnya adalah USA (US\$ 1,76/Wp), Spanyol, Jerman dan Inggris (US\$ 0,68/Wp), Jepang (US\$ 2,04/Wp) serta China dan Taiwan (US\$ 1,68)<sup>3</sup>.

Selain itu dengan sistem *feed-in-tariff*, beberapa negara di dunia juga telah menerapkan aturan subsidi dengan sistem kredit seperti sistem kredit perumahan. Bantuan pendanaan ini berasal dari pihak ketiga (orang luar), seperti bank dengan jangka waktu tertentu. Adanya program insentif ini dapat membuat konsumen untuk bisa menikmati harga energi surya dengan investasi awal yang tidak terlalu memberatkan. Biasanya penerapan program ini disertai dengan program *feed-in-tariff* sehingga waktu pelunasan kredit akan dapat terbantu dengan adanya pemasukan dari penjualan listrik ke perusahaan listrik negara yang pada akhirnya diharapkan akan mempersingkat masa pembayaran dan meringankan pengeluaran. Program ini sudah cukup mapan untuk bisa ditemui di negara seperti USA (negara bagian California), maupun di belahan benua Eropa seperti di Jerman, Belanda, Prancis dan Spanyol. Di negara berkembang, program kredit ini baru tercatat telah dikembangkan di negara Bangladesh. Program ini juga bertujuan untuk memberdayakan masyarakat pedesaan atau daerah yang terisolir jaringan listrik.

---

<sup>3</sup> K.S. Astawa. "Goodwill" untuk Kembangkan "Renewable" Energi. [www.balipost.co.id](http://www.balipost.co.id), 4 April 2011



#### 2.4.2 Regulasi Energi Baru Terbarukan di Indonesia

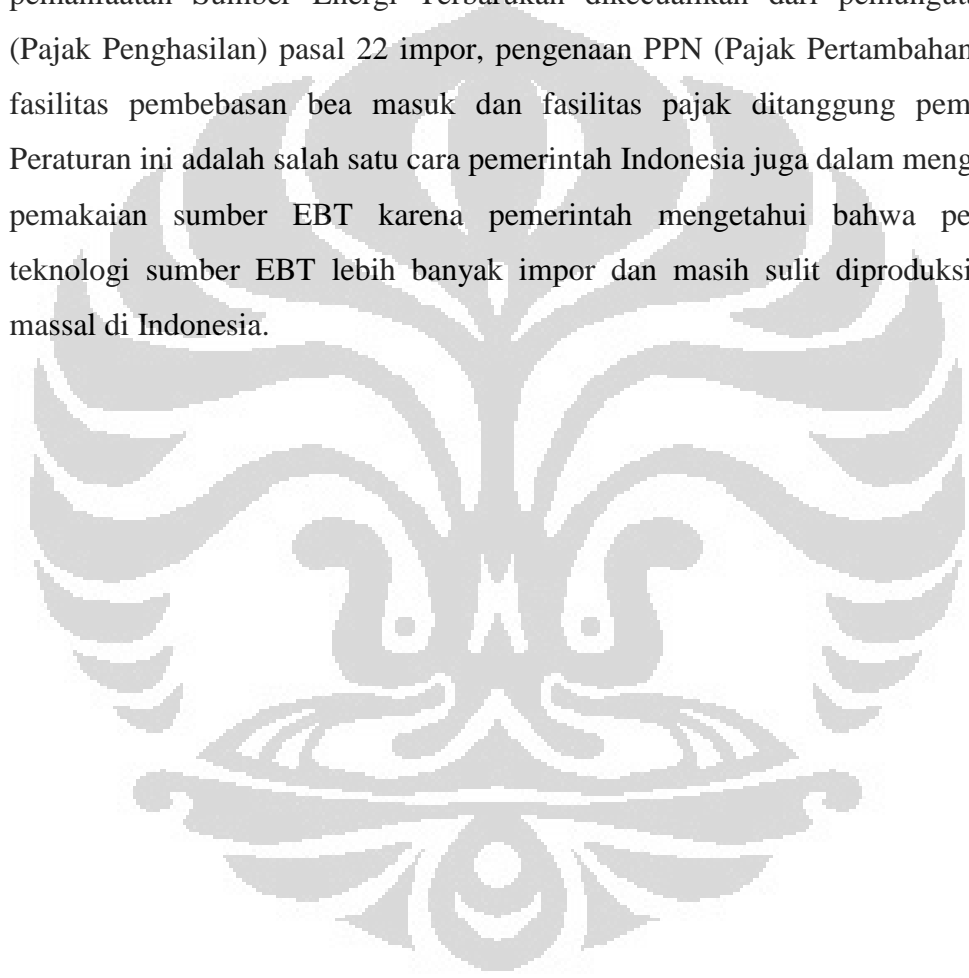
Pengembangan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia diatur dalam Peraturan Presiden (Perpres) No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres tersebut dinyatakan bahwa kontribusi untuk EBT dalam bauran energi primer nasional untuk tahun 2025 adalah 17% dengan bagian untuk energi dari tenaga surya dan tenaga angin sebesar 5% (Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025).

Kebijakan *feed-in-tariff* di Indonesia sudah mulai dilakukan dalam skala terbatas sejak tahun 2002, yaitu melalui Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM No. 1122K/30/MEM/2002. Kepmen ini mengatur tentang Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Tersebar (PSK Tersebar kurang dari 1 MW), badan usaha atau koperasi yang dapat menjual listrik kepada PLN dari sumber EBT dengan harga tertentu. Kepmen ini kemudian diperbaharui pada tahun 2009 dengan dikeluarkannya Peraturan Menteri ESDM No. 31 tahun 2009 tentang harga pembelian tenaga listrik oleh PLN dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan sumber EBT skala kecil dan menengah atau kelebihan tenaga listrik. *Feed-in-tariff* ini mewajibkan perusahaan jaringan listrik nasional untuk membeli listrik yang dihasilkan dari sumber-sumber EBT seperti tenaga angin, tenaga surya, biomassa, panas bumi, tenaga air dan lainnya. Dalam peraturan yang sama, pemerintah Indonesia juga telah menetapkan kebijakan *feed-in-tariff* untuk energi terbarukan dengan harga Rp. 656/kWh jika terinterkoneksi pada tegangan menengah dan harga Rp. 1004/kWh jika terinterkoneksi pada tegangan rendah. Kebijakan ini juga tetap ada dalam pembaharuan Peraturan Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam tahun 2012 nomor 4.

Dalam *draft* Rancangan Peraturan Presiden Republik Indonesia tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) 2010-2050, pemerintah telah membuat kebijakan terkait energi surya. Kebijakan tersebut diantaranya adalah penerapan kebijakan penggunaan sel surya pada pemakaian tertentu seperti industri besar, gedung komersial, rumah mewah serta PLN. Sejalan dengan peraturan itu, pemerintah juga akan menggalakkan industri sistem dan komponen peralatan instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), mewujudkan keekonomian

PLTS, meningkatkan penguasaan teknologi PLTS dan surya termal dalam negeri melalui penelitian dan pengembangan serta pembelian lisensi.

Selain itu, untuk mendukung program pemakaian dan instalasi PLTS, pemerintah Indonesia membuat peraturan melalui Peraturan Menteri Keuangan nomor 24/PMK.011/2010. Dalam peraturan ini dinyatakan bahwa atas impor barang berupa mesin dan peralatan, baik dalam keadaan terpasang maupun terlepas, tidak termasuk suku cadang, yang diperlukan oleh pengusaha di bidang pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan dikecualikan dari pemungutan PPh (Pajak Penghasilan) pasal 22 impor, pengenaan PPN (Pajak Pertambahan Nilai), fasilitas pembebasan bea masuk dan fasilitas pajak ditanggung pemerintah. Peraturan ini adalah salah satu cara pemerintah Indonesia juga dalam menggiatkan pemakaian sumber EBT karena pemerintah mengetahui bahwa perangkat teknologi sumber EBT lebih banyak impor dan masih sulit diproduksi secara massal di Indonesia.

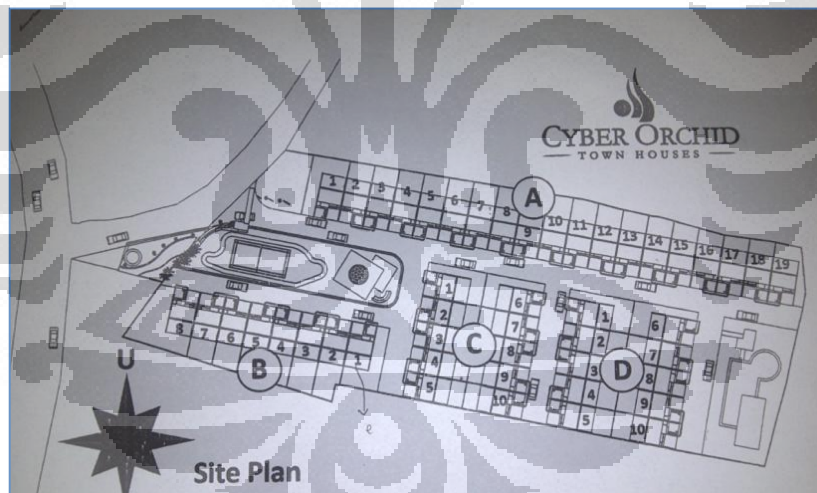


## BAB 3 PENGOLAHAN DATA

### 3.1. Perumahan Cyber Orchid Town Houses

#### 3.1.1 Profil Perumahan Cyber Orchid Town House

Perumahan Cyber Orchid Town Houses merupakan perumahan yang dibangun sejak tahun 2007. Adapun perumahan ini berlokasi di Jalan Nangka, Beji Timur, Depok, Jawa Barat. Perumahan ini juga tepat terletak di belakang Kepolisian Sektor Beji, Depok, Jawa Barat. Perumahan ini berisikan 47 rumah yang sudah terhuni, 1 pos polisi di samping pintu masuk perumahan, 1 lapangan olahraga dan 1 gedung serba guna yang masih dalam tahap penyelesaian pembangunan. Karena masih dalam tahap penyelesaian pembangunan inilah maka perumahan ini masih di bawah tanggung jawab pengembang perumahannya (*developer*) yaitu Orchid Realty dan belum tergabung di RT setempat.



**Gambar 3.1** Site Plan Perumahan Cyber Orchid Town Houses

Perumahan Cyber Orchid Town Houses yang memiliki luas keseluruhan 7800 m<sup>2</sup> ini di dalamnya terdapat 47 rumah yang terbagi atas 2 jenis tipe rumah, yaitu tipe 40 dan tipe 85. Adapun pembagian jumlahnya adalah 20 rumah untuk tipe 85 dan 27 rumah untuk tipe 40. Untuk tipe 85, luas tanah adalah 90 m<sup>2</sup> dan luas bangunannya 85 m<sup>2</sup>. Untuk tipe 40, luas tanahnya 84 m<sup>2</sup> dan luas bangunannya 40 m<sup>2</sup>. Untuk kedua jenis rumah ini memiliki luas atap ± 36 m<sup>2</sup>. Hal

ini berhubungan nantinya untuk rencana pemasangan panel surya yang diletakkan di atap rumah.



**Gambar 3.2** Tipe Rumah 40/84



**Gambar 3.3** Tipe Rumah 85/90

### 3.1.2 Sistem Kelistrikan Perumahan Cyber Orchid Town Houses

Pada awal saat dibangun kompleks perumahan ini mempunyai daya listrik seragam yang disediakan oleh pengembangnya yaitu 1300 watt untuk masing-masing rumah. Akan tetapi pemilik rumah diberikan keleluasaan untuk bisa menambah atau mengurangi daya listrik rumahnya sesuai kebutuhan masing-masing pemilik. Walau demikian, tarif listrik di seluruh rumah dalam perumahan ini berkisar di tarif R1 dan R2. Daya listrik terbesar untuk satu rumah adalah 4400 watt sedangkan yang terkecil adalah 1300 watt.

Adapun untuk perkiraan teknis pemasangan sel surya, maka rumah-rumah di perumahan ini diidentifikasi lebih lanjut dari tipe rumah dan arah hadap bangunan rumah berdasarkan pemetaan perumahan di atas. Pembagian kategori rumah dapat berguna untuk nantinya memperkirakan cara teknis pemasangan sel surya. Untuk setiap rumah ada 4 jenis kategori, yaitu:

- Tipe rumah 85, bangunan utara – selatan (kategori A). Nomor rumah yang termasuk dalam tipe ini adalah A1-A7 dan B1-B8
- Tipe rumah 85, bangunan timur – barat (kategori B). Nomor rumah yang termasuk dalam tipe ini adalah C1-C5
- Tipe rumah 40, bangunan utara – selatan (kategori C). Nomor rumah yang termasuk dalam tipe ini adalah A8-A19
- Tipe rumah 40, bangunan timur – barat (kategori D). Nomor rumah yang termasuk dalam tipe ini adalah C6-C10 dan D1-D10.

Hasil pengukuran energi listrik setiap bulan untuk setiap rumah di perumahan ini adalah dari PT. PLN APJ Depok. Berikut adalah rekapan dari pemakaian energi listrik setiap bulan terhitung mulai bulan Juni 2011 – April 2012.

Tabel 3.1 Daftar Pemakaian Energi Listrik Perumahan Cyber Orchid Town Houses

Pemakaian Energi Listrik Perumahan Cyber Orchid Town Houses Tahun (KWH)												
ID Pelanggan	Tarif	Bulan & Tahun Pemakaian										
		April '12	Maret '12	Februari '12	Januari '12	Desember '11	November '11	Oktober '11	September '11	Agustus '11	Juli '11	Juni '11
538712311529	R1	463.0	409.0	373.0	360.0	353.0	416.0	339.0	448.0	390.0	475.0	458.0
538712311503	R1	594.0	510.0	504.0	547.0	601.0	484.0	413.0	593.0	420.0	306.0	527.0
538712311552	R1	597.0	504.0	429.0	581.0	541.0	592.0	467.0	595.0	529.0	486.0	406.0
538712311672	R2	686.0	562.0	599.0	812.0	772.0	800.0	579.0	654.0	487.0	785.0	824.0
538712311680	R1	444.0	380.0	357.0	397.0	441.0	477.0	392.0	523.0	366.0	50.0	62.0
538712311744	R1	492.0	414.0	387.0	438.0	399.0	469.0	437.0	536.0	359.0	426.0	243.0
538712311751	R1	607.0	532.0	501.0	792.0	892.0	713.0	593.0	675.0	950.0	1028.0	854.0
538712311769	R1	91.0	143.0	0.0	77.0	253.0	181.0	241.0	97.0	52.0	91.0	70.0
538712311777	R1	284.0	247.0	241.0	286.0	285.0	311.0	310.0	294.0	291.0	301.0	311.0
538712311901	R1	44.0	37.0	31.0	23.0	34.0	57.0	74.0	127.0	73.0	66.0	53.0
538712311560	R1	241.0	199.0	192.0	237.0	222.0	237.0	248.0	283.0	250.0	288.0	274.0
538712311578	R1	74.0	59.0	80.0	55.0	67.0	49.0	92.0	77.0	147.0	157.0	127.0
538712311481	R1	256.0	232.0	208.0	239.0	178.0	208.0	164.0	210.0	209.0	235.0	232.0
538712311586	R1	227.0	143.0	197.0	147.0	139.0	208.0	232.0	200.0	203.0	204.0	164.0
538712311594	R1	598.0	512.0	458.0	406.0	410.0	11.0	58.0	57.0	73.0	61.0	127.0
538712311830	R1	204.0	265.0	282.0	363.0	326.0	389.0	405.0	334.0	230.0	242.0	233.0
538712311855	R1	112.0	109.0	123.0	97.0	28.0	11.0	4.0	5.0	4.0	4.0	3.0
538712311871	R1	284.0	247.0	241.0	286.0	285.0	311.0	310.0	294.0	291.0	301.0	311.0
538712311889	R1	317.0	281.0	301.0	343.0	281.0	302.0	306.0	319.0	296.0	291.0	294.0
538712311503	R1	405.0	369.0	347.0	417.0	385.0	402.0	414.0	404.0	415.0	386.0	372.0
538712311537	R1	367	303	293	339	276	311	335	327	303	56	3
538712311545	R1	309	266	274	321	286	286	299	297	338	316	328
538712311785	R1	244	213	222	270	247	283	85	180	190	185	183
538712311499	R1	217	195	206	224	214	213	161	228	239	254	256
538712311615	R1	277	178	28	28	111	293	344	380	318	326	313
538712311631	R1	396	349	251	387	371	406	449	380	362	317	379
538712311664	R1	375	341	324	322	352	344	267	330	288	363	339
538712311698	R1	496	404	444	520	474	408	444	1084	0	0	17
538712311702	R1	246	218	166	228	202	259	240	280	244	255	263
538712311710	R1	190	202	254	207	205	245	187	253	166	179	201
538712311728	R1	67	52	53	70	56	139	309	320	317	311	327
538712311806	R1	471	344	93	2	0	7	1	0	0	0	0
538712311919	R1	410	403	391	412	348	390	358	355	362	290	316
538712311649	R1	351	123	6	7	3	10	19	18	10	10	10
538712311935	R1	2	0	0	2	8	15	22	11	9	39	38
538712311607	R1	570	512	474	640	547	534	564	573	558	534	524
538712311473	R1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
538712311623	R1	13	27	33	30	19	11	45	65	125	219	274
538712311656	R1	515	417	463	388	400	404	359	390	362	385	384
538712311736	R2	605	511	515	830	599	530	579	671	692	472	530
538712311814	R1	9	189	288	367	334	336	285	355	380	357	367
538712311897	R1	358	290	274	359	429	223	252	344	293	278	266

Setelah mengetahui pemakaian energi listrik setiap bulan dari setiap rumah, maka dapat dilanjutkan untuk menghitung pemakaian rata-rata energi listrik setiap harinya di perumahan ini. Setelah dihitung secara keseluruhan ternyata pemakaian rata-rata energi listrik setiap harinya sebesar 10.03 kWh. Apabila dilihat dari jenis kategori rumah seperti yang sudah dibagi sebelumnya





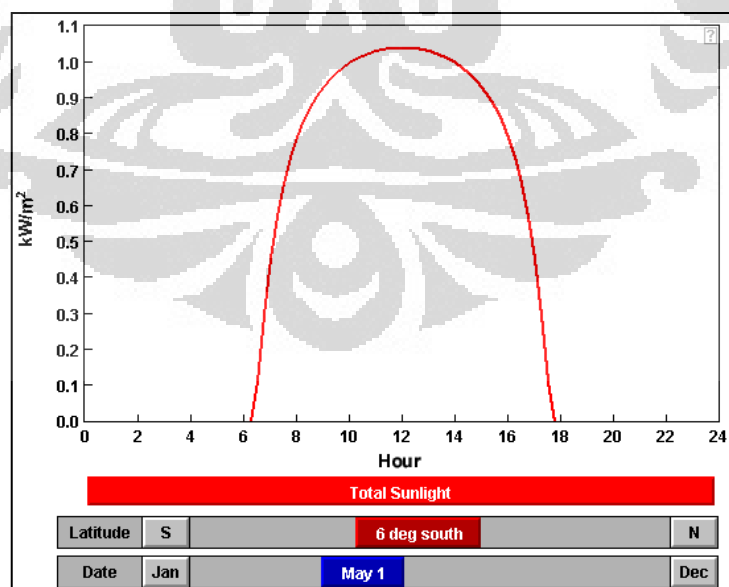


untuk bagian galon air dan sekitar 3,6 m<sup>2</sup> luas dari atap rumah terambil untuk hal ini. Jadi luas total keseluruhan dari atap rumah adalah 32,4 m<sup>2</sup>. Untuk perencanaan sistem PLTS nantinya akan disamakan setiap jenis rumah, jadi luas yang area untuk sistem PLTS nanti akan dianggap sama untuk seluruh tipe rumah.

Adapun perencanaan sistem PLTS di perumahan Cyber Orchid Town Houses Depok adalah untuk mensuplai penggunaan energi listrik 100% setiap hari dengan perhitungan sel surya bekerja dari jam 06.00 pagi hari (waktu matahari terbit) sampai jam 18.00 sore hari (waktu matahari terbenam). Untuk itu dalam menghitung luas sistem panel PLTS untuk menghasilkan energi 10,03 kWh dapat dengan rumus:

$$\frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}} = PV \text{ Area}$$

Besar rata-rata pemakaian energi listrik harian di perumahan ini ( $E_L$ ) adalah 10,03 kWh. Untuk nilai  $G_{av}$  adalah nilai insolasi cahaya harian setiap jam yang adalah 0-1 kWh/m<sup>2</sup> dihitung satu hari dari jam 06.00 sampai jam 18.00 sesuai pergerakan matahari. Berikut adalah gambar grafik pergerakan matahari di kota Depok menurut <http://pvcdrom.pveducation.org/SUNLIGHT/SHCALC.HTM>.



**Gambar 3.5** Grafik Insolasi Cahaya Matahari

Nilai  $\eta_{pv}$  adalah nilai dari efisiensi panel surya sebesar 14,5%. Untuk nilai  $\eta_{out}$  dihitung berdasarkan efisiensi komponen-komponen yang melengkapi PLTS. Sistem PLTS yang dilengkapi dengan baterai, *inverter* dan *controller* maka besar  $\eta_{out}$  adalah hasil perkalian dari keseluruhan efisiensi komponen baterai, *inverter* dan *controller* yang hasilnya adalah:

$$\eta_{out} = \eta_b \times \eta_i \times \eta_c = 0,95 \times 0,97 \times 0,98 = 0,903$$

Suhu standar untuk panel surya dapat bekerja dengan baik ada di titik 25°C. Sedangkan menurut data geografis dari NASA<sup>4</sup> bahwa suhu maksimal di Depok adalah 27,1°C. Jadi akan ada pengurangan daya yang dihasilkan saat suhu naik. Nilai TCF atau nilai faktor perubahan temperatur dapat dihitung dari rumus-rumus berikut.

$$P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}} = 0,5\%/^{\circ}\text{C} \times P_{\text{Mpp}} \times \text{kenaikan temperatur } (^{\circ}\text{C})$$

$$P_{\text{Mpp saat } 2,01^{\circ}\text{C}} = 0,5\%/^{\circ}\text{C} \times 50 \text{ W} \times 2,1^{\circ}\text{C} = 0,525 \text{ W}$$

$$P_{\text{Mpp saat naik } t^{\circ}\text{C}} = P_{\text{Mpp}} - P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}}$$

$$P_{\text{Mpp saat } t=27,01^{\circ}\text{C}} = P_{\text{Mpp}} - P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}} = 50 - 0,5025 \text{ W} = 49,475$$

Maka nilai TCF adalah:

$$\text{TCF} = P_{\text{Mpp saat naik } t^{\circ}\text{C}} / P_{\text{Mpp}} = \frac{49,475 \text{ W}}{50 \text{ W}} = 0,9895$$

Apabila nilai  $G_{av}$ ,  $\eta_{pv}$ ,  $\text{TCF}$ ,  $\eta_{out}$  disubstitusikan ke rumus PV area, maka dapat diperoleh:

$$\frac{10,03 \text{ kWh}}{3,3 \text{ kWh/m}^2 \times 0,145 \times 0,9895 \times 0,903} = 24,748 \text{ m}^2 \approx 25 \text{ m}^2$$

Area ini masih dapat diterima karena luas keseluruhan atap rumah sebesar 32,4 m<sup>2</sup>. Setelah mendapatkan luas PV area yang dibutuhkan dalam menghasilkan energi rata-rata di perumahan, selanjutnya adalah menghitung jumlah panel surya yang akan digunakan untuk memenuhi PV area sebesar 25 m<sup>2</sup>. Perhitungan ini dapat dilakukan melalui dimensi pengukuran luas panel surya yang akan digunakan dalam rencana implementasi sistem PLTS ini..

<sup>4</sup> <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?&email=rets@nrcan.gc.ca&step=1&p=&lat=-6.39&submit=Submit&lon=106.83>, 7 Mei 2012.

### 3.2.2 Komponen-komponen Sistem PLTS

Dalam membuat rencana pemasangan rangkaian panel surya untuk rumah-rumah di perumahan Cyber Orchid Town Houses, maka adalah penting untuk mengetahui masing-masing detail dari komponen PLTS itu sendiri.

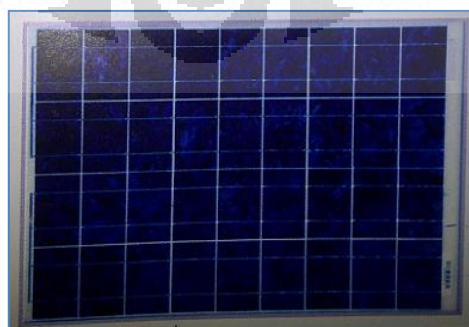
#### 3.2.2.1 Modul Surya

Jenis modul surya yang rencananya akan dipasangkan pada atap rumah-rumah di perumahan Cyber Orchid Town Houses adalah panel surya dari PT. Azet Surya jenis ASL-M50. Panel surya ini mempunyai kapasitas pada kondisi standar adalah 50 watt-peak (wp) dengan rincian spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Spesifikasi Panel Surya ASL-M50

Rated Power (Pmax)	50 watt (W)
Efisiensi Modul (berdasarkan pengujian SNI)	14,5%
Tegangan pada Pmax (Vmp)	16,8 volt (V)
Arus pada Pmax (Imp)	3 ampere (A)
Tegangan open circuit (Voc)	21 volt (V)
Arus Short Circuit (Isc)	3,45 ampere (A)
Max System Voltage	600 volt (V)
Ukuran (mm)	835(p) x 535(l) x 38(t)

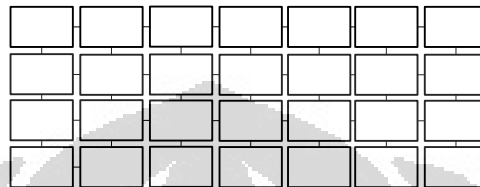
Dua panel sel surya jenis ASL-M50 bila dipasang secara seri maka arus ( $I_{mp}$ ) akan tetap 3A sedangkan tegangan ( $V_{mp}$ ) akan dikalikan dengan jumlah panel surya sepanjang barisan seri itu. Berbeda ketika panel sel surya ini dipasangkan secara paralel dimana tegangan ( $V_{mp}$ ) yang akan tetap 16,8 V dan untuk arus ( $I_{mp}$ ) akan dikalikan dengan jumlah panel suryanya. Gambar berikut menunjukkan panel surya jenis ASL-M50 yang menjadi bagian dari rencana pemasangan PLTS.



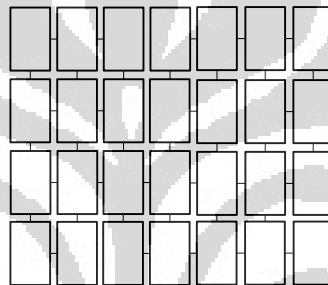
**Gambar 3.6** Panel Surya ASL-M50

(Sumber: Brosur Produk PT. Azet Surya Lestari)

Luas area panel surya yang akan dipakai dalam rencana pemasangan sistem PLTS ini sebesar  $25 \text{ m}^2$ . Sebuah panel surya sendiri mempunyai luas  $0,447 \text{ m}^2$ . Berarti luas area panel surya sebesar  $25 \text{ m}^2$  akan dapat diisi dengan 56 panel surya. Adapun bentuk pengaturan panel surya terbagi atas dua bagian sesuai sisi atap rumah. Namun pengaturan panel surya tetap sama yaitu terdiri dari 4 rangkaian paralel dan 7 rangkaian seri.



**Gambar 3.7** Skema Panel Surya pada Sisi Atap Penuh



**Gambar 3.8** Skema Panel Surya pada Sisi Atap Terpotong Galon Air

Kedua pengaturan skema panel surya di atas bisa dipasang sesuai arah atap rumah untuk tipe rumah yang mempunyai arah bangunan utara-selatan. Alasannya adalah karena pada tipe rumah ini, atap rumah sudah sesuai dengan arah pergerakan matahari. Sedangkan untuk tipe rumah yang arah bangunannya menghadap timur-barat maka skema pengaturannya mengikuti gambar 3.6 yang akan dibuat tegak lurus dengan arah bangunan atap namun tetap dipasang kedua bagian atap. Pemasangannya diarahkan ke arah utara dengan sudut  $25^\circ$  pada kedua sisi atap.

### 3.2.2.2 Baterai

Kapasitas baterai yang direncanakan akan menjadi bagian dalam PLTS di perumahan ini adalah baterai *deep cycle* yang memiliki kapasitas menyimpan energi dengan arus 1000 ampere-hour dan tegangan 2V. Siklus baterai *deep-cycle* secara khusus dirancang untuk penyimpanan energi dan dalam pelayanan *deep-*

*cycle*. Baterai jenis ini cocok untuk digunakan dengan sistem energi terbarukan, dalam siklus baterai yang tahan lama dan memiliki kapasitas 80% untuk digunakan sebelum diisi ulang dan bertahan ratusan bahkan ribuan siklus. Baterai jenis ini memiliki *shallow-cycle* antara 10% sampai 15% dari total kapasitas baterai dan *deep-cycle* hingga 50% sampai 80%.

Idealnya, sebuah baterai adalah bank energi jadi seharusnya dapat menyimpan energi listrik selama 3-5 hari. Jika bank baterai lebih kecil dari kapasitas 3 hari, hal itu akan sangat mempengaruhi siklus pemakaian baterai terus menerus sehingga akan membuat masa hidup baterai menjadi lebih pendek. Ukuran sistem, kebutuhan individu dan harapan akan menentukan ukuran baterai terbaik untuk sistem pembangkit listrik yang ingin dibangun<sup>5</sup>.



**Gambar 3.9** Baterai RB-S2-1180AGM

(Sumber: <http://rollsbattery.com/products/19>)

**Tabel 3.3** Spesifikasi Baterai RB-S2-1180AGM

Cycle Design Life	Suitable for cycling up to 1500 discharges at 80 % DOD
Rated Capacity	10 hour discharge at 25°C

Dari keterangan di atas, dapat dihitung bahwa kebutuhan baterai untuk perancangan sistem PLTS pada rumah di Perumahan Cyber Orchid Town Houses ini adalah sebanyak 22 buah baterai; dengan catatan, cadangan energi listrik yang disimpan dalam baterai untuk 3 hari dan memakai 70% dari kapasitas baterai. Selain itu, dari informasi yang didapatkan juga bahwa baterai jenis ini adalah bebas biaya pemeliharaan. Hanya yang sangat perlu diperhatikan adalah

<sup>5</sup> Anonim. "PV Battery" <http://www.solardirect.com/pv/batteries/batteries.htm>, 7 Mei 2012.

bagaimana menggunakan baterai untuk tidak terlalu banyak mengambil siklus *deep-cycle* baterai itu.

### 3.2.2.3 Inverter

*Inverter* adalah salah satu komponen sistem PLTS yang penting untuk diperhatikan dengan baik spesifikasinya. *Inverter* adalah alat yang ntuk mengubah arus DC (*direct current*) yang dihasilkan dari panel surya menjadi arus AC (*alternating current*) untuk digunakan dalam rumah. *Inverter* yang akan digunakan dalam perancangan sistem PLTS ini adalah jenis SUNNY BOY 5000TL.



**Gambar 3.10** Inverter SUNNY BOY 5000TL

(Sumber: <http://www.sma.de/en/products> )

**Tabel 3.4** Spesifikasi Inverter SUNNY BOY 5000TL

Max DC power	5300 W
Mac DC voltage	550 V
Nominal AC range	180 V – 280 V
Max. output current	22 A
Max. apparent AC power	5000 VA
Max. efficiency	97%
Dimensions (W / H / D)	470 / 445 / 180 mm

### 3.2.2.4 Controller

Dalam sistem PLTS, *controller* mempunyai peran penting di dalamnya. *Controller* yang akan digunakan dalam rancangan sistem PLTS untuk rumah ini adalah jenis Sunny Backup 2200. Alat ini berfungsi sebagai pusat sambungan (pengatur sistem) listrik ke sistem listrik dan baterai. Selain itu, alat ini juga

mempunyai fungsi untuk mengatur sistem agar penggunaan listriknya aman dan efektif sehingga semua komponen sistem PLTS yang lain aman dari bahaya perubahan level tegangan.



**Gambar 3.11** Controller SUNNY Backup 2200

(Sumber: <http://www.sma.de/en/products>)

**Tabel 3.5** Spesifikasi Controller SUNNY Backup 2200

Nominal power / current during grid operation	5.7 kW / 25 A
Voltage (range)	230 V (172.5 V – 264.5 V)
Nominal AC power / current	4,6 kW / 20 A
Nominal voltage / number of blocks	24 V / 2 x 12 V
Battery type / energy	AGM / 3.4 kWh
Max. efficiency	93,6%
Dimensions (W / H / D)	470 / 445 / 180 mm

### 3.2.3 Teknis Pemasangan dan Perhitungan Energi PLTS

Salah satu hal yang penting untuk diperhatikan dalam pemasangan sel surya di satu tempat adalah orientasi arah pemasangan rangkaian panel surya. Letak geografis kota Depok ada di posisi  $6,19^{\circ}\text{LS}$ – $6,28^{\circ}\text{LS}$  dan  $106,43^{\circ}\text{BB}$ – $106,55^{\circ}\text{BB}$  yang berarti ini menunjukkan kota Depok berada di belahan bumi selatan (di bawah garis khatulistiwa). Hal ini berarti panel surya yang ingin dipasangkan sebaiknya diarahkan condong ke utara untuk mendapatkan pancaran sinar matahari lebih mudah dan optimal.

Selain itu, hal yang penting lainnya untuk diperhatikan dalam pemasangan sel surya di satu tempat adalah orientasi arah pemasangan rangkaian panel surya. Mengacu pada tesis dari Saudari Karlina Romasindah (2008), mengenai optimasi kinerja panel surya melalui pengaturan panel sebagai *sun shading* untuk menekan biaya listrik bangunan dengan studi kasus di gedung Engineering Center (EC)

Fakultas Teknik Universitas Indonesia, penelitian beliau menyatakan bahwa “kemiringan panel surya yang optimal sebagai *sun shading* pada gedung EC adalah  $25^\circ$  dengan orientasi bangunan utara-selatan, tipe *sun shading horizontal solid overhang* dan *inclined wall* serta dimensi panel 40cm x 40cm”. Atas dasar penelitian tersebut, untuk studi kasus penelitian rencana pemasangan sel surya di perumahan Cyber Orchid Town Houses yang terletak di daerah yang sama dengan gedung EC, maka kemiringan panel surya yang dipakai sebesar  $25^\circ$ . Untuk itu, rencana pemasangan struktur rak penyangga panel surya di atap rumah akan dipasang dengan tetap dan dengan kemiringan  $25^\circ$ .

Untuk menghitung energi yang dihasilkan dari PLTS yang dirancang dalam studi kasus ini, maka dapat menggunakan rumus PV area yang sebelumnya.

$$E_L = PV \text{ Area} \times G_{av} \times \eta_{pv} \times TCF \times \eta_{out}$$

Untuk perhitungan kali ini yang dicari  $E_L$  atau energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS seluas  $25 \text{ m}^2$  dengan nilai insolasi cahaya yang didapatkan tiap jam dalam satu hari. Maka hasil dari perhitungan  $E_L$  untuk satu hari dari matahari terbit sampai terbenam adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.6** Perhitungan Energi PLTS Selama 1 Hari

Jam	Intensitas Cahaya Matahari (kWh/m <sup>2</sup> )	Energi (kWh)
6.00	0.00	0.00
6.25	0.00	0.00
6.50	0.08	0.27
6.75	0.26	0.87
7.00	0.42	1.40
7.25	0.54	1.82
7.50	0.64	2.14
7.75	0.71	2.40
8.00	0.77	2.60
8.25	0.82	2.76
8.50	0.86	2.89
8.75	0.89	3.00
9.00	0.92	3.09
9.25	0.94	3.17
9.50	0.96	3.23
9.75	0.98	3.28
10.00	0.99	3.33
10.25	1.00	3.36
10.50	1.01	3.40
10.75	1.02	3.42
11.00	1.02	3.44



**Tabel 3.6** Perhitungan Energi PLTS Selama 1 Hari (Sambungan)

Jam	Intensitas Cahaya Matahari (kWh/m <sup>2</sup> )	Energi (kWh)
11.25	1.03	3.46
11.50	1.03	3.47
11.75	1.03	3.47
12.00	1.04	3.48
12.25	1.03	3.47
12.50	1.03	3.47
12.75	1.03	3.46
13.00	1.02	3.44
13.25	1.02	3.42
13.50	1.01	3.40
13.75	1.00	3.36
14.00	0.99	3.33
14.25	0.98	3.28
14.50	0.96	3.23
14.75	0.94	3.17
15.00	0.92	3.09
15.25	0.89	3.00
15.50	0.86	2.89
15.75	0.82	2.76
16.00	0.77	2.60
16.25	0.71	2.40
16.50	0.64	2.14
16.75	0.54	1.82
17.00	0.42	1.40
17.25	0.26	0.87
17.50	0.08	0.27
17.75	0.00	0.00
18.00	0.00	0.00
Rata-rata total energi		10.55

Dari perhitungan di atas untuk mendapatkan energi satu hari, maka dapat dihitung energi yang didapatkan selama satu tahun (365 hari). Karena pergerakan matahari setiap bulannya berbeda-beda, maka energi yang dihasilkan tidak selalu sama. Berikut adalah hasil perhitungan rata-rata energi yang dihasilkan PLTS selama satu tahun.

**Tabel 3.7** Perhitungan Energi PLTS Selama Satu Tahun

Bulan	Energi Per Bulan (kWh)	Energi Per Hari (kWh)
Januari	346.79	11.19
Febuari	313.36	11.19
Maret	350.42	11.30

**Tabel 3.7** Perhitungan Energi PLTS Selama Satu Tahun (Sambungan)

Bulan	Energi Per Bulan (kWh)	Energi Per Hari (kWh)
April	328.97	10.97
Mei	327.12	10.55
Juni	308.83	10.29
Juli	322.46	10.40
Agustus	334.54	10.79
September	335.70	11.19
Oktober	346.10	11.16
November	335.89	11.20
Desember	346.32	11.17
Rata-rata	333.04	10.95

Sistem PLTS yang dirancang dalam studi kasus penelitian ini menggunakan 56 panel surya yang akan diharapkan dapat menghasilkan  $\pm 10,03$  kWh setiap harinya. Namun apabila dibagikan per kategori rumah maka hasilnya adalah:

- Rumah yang termasuk kategori A sekitar 77% dari kebutuhan listriknya terpenuhi dari sistem PLTS ini
- Rumah yang termasuk kategori B 100% dari kebutuhan listriknya terpenuhi dari sistem PLTS ini bahkan ada kelebihan energi sekitar 0,31 kWh.
- Rumah yang termasuk kategori C 100% dari kebutuhan listriknya terpenuhi dari sistem PLTS ini bahkan ada kelebihan energi sekitar 4,46 kWh.
- Rumah yang termasuk kategori D 100% dari kebutuhan listriknya terpenuhi dari sistem PLTS ini bahkan ada kelebihan energi sekitar 2,24 kWh.

Pada saat modul surya tidak bekerja, maka arus tegangan dari baterai akan disalurkan. Apabila tidak ada arus yang tersimpan cukup di dalam baterai, maka arus dari PLN yang akan disalurkan ke dalam sistem PLTS ini. Oleh karena itu, aturan dalam sistem ini adalah sebagai berikut:

- Apabila panel surya menghasilkan daya pada siang hari dengan ketentuan kapasitas baterai lebih besar atau sama dengan 50 persen dan kurang dari

atau sama dengan 95 persen ( $50\% \leq \text{kapasitas baterai} \leq 95\%$ ) dari kapasitas maksimumnya maka daya dari panel surya disalurkan ke baterai

- Apabila panel surya tidak menghasilkan daya pada malam hari dengan ketentuan kapasitas baterai lebih besar atau sama dengan 50 persen dan kurang dari atau sama dengan 95 persen ( $50\% \leq \text{kapasitas baterai} \leq 95\%$ ) dari kapasitas maksimumnya maka daya dari PLN disalurkan ke baterai
- Apabila panel surya menghasilkan daya dan kapasitas baterai kurang dari 30 persen ( $\text{kapasitas baterai} \leq 30\%$ ) dari kapasitas maksimumnya, maka daya baterai akan diisi dari panel surya dan PLN.

### 3.3 Pengolahan Data Biaya Sistem PLTS

#### 3.3.1 Perhitungan Investasi Sistem PLTS

Yang termasuk ke dalam biaya investasi awal untuk rancangan sistem PLTS di perumahan Cyber Orchid Town Houses Depok adalah: biaya untuk komponen sistem PLTS, biaya pemasangan rak panel dan biaya instalasi sistem PLTS. Yang termasuk kedalam komponen biaya sistem PLTS adalah pembelian panel, baterai, *inverter* dan *controller*. Untuk jenis biaya pemasangan rak panel sudah dipaketkan untuk 1 panel surya dan terhitung juga biaya pengiriman komponen rak panel. Sedangkan untuk biaya instalasi sistem PLTS mencakup biaya pengiriman komponen sistem PLTS dan biaya instalasi sistem yang ingin dipasang.

Keseluruhan informasi untuk setiap komponen biaya investasi awal sistem PLTS didapatkan dari wawancara dengan salah satu karyawan dari pabrik sel surya (PT. Azet Surya), mencari informasi dari internet dengan melihat *website* yang menjual komponen-komponen untuk sistem PLTS dan membaca beberapa referensi dari literatur yang membahas mengenai implementasi sistem sel surya. Adapun tabel di bawah akan mencakup keseluruhan jenis biaya investasi PLTS.

**Tabel 3.8** Perhitungan Biaya Investasi Awal Sistem PLTS dengan Baterai

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Modul Surya 50Wp ASL-M50	56	buah	Rp 2,250,000	Rp 126,000,000
Inverter Sunny Mini Sentral 5000-TL	1	buah	Rp 17,795,798	Rp 17,795,798
Baterai RB-S2-1180AGM	22	buah	Rp 7,407,200	Rp 162,958,400
Controller SUNNY Backup Tipe 2200	1	buah	Rp 23,888,220	Rp 23,888,220
Biaya Pengiriman*	1	kali	Rp 10,000,000	Rp 10,000,000
Biaya Instalasi dan Setting PLTS**	1	kali	Rp 15,000,000	Rp 15,000,000
Rak Sel Surya**	56	buah	Rp 462,500	Rp 25,900,000
Biaya Pengerjaan Rak***	1	kali	Rp 6,000,000	Rp 6,000,000
Biaya Pengiriman Material***	1	kali	Rp 2,000,000	Rp 2,000,000
Total Biaya Investasi				Rp 389,542,418

(\*PT. Azet Surya Lestari; \*\*Contained Energy Indonesia; \*\*\*Anugerah Dewata)

Untuk perancangan sistem PLTS yang tidak memakai baterai dalam studi kasus ini, nilai investasinya berkurang dari jenis pembelian baterai. Maka perhitungan biaya investasinya adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.9** Perhitungan Biaya Investasi Awal Sistem PLTS tanpa Baterai

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
Modul Surya 50Wp ASL-M50	56	buah	Rp 2,250,000	Rp 126,000,000
Inverter Sunny Mini Sentral 5000-TL	1	buah	Rp 17,795,798	Rp 17,795,798
Controller SUNNY Backup Tipe 2200	1	buah	Rp 23,888,220	Rp 23,888,220
Biaya Pengiriman*	1	kali	Rp 10,000,000	Rp 10,000,000
Biaya Instalasi dan Setting PLTS**	1	kali	Rp 15,000,000	Rp 15,000,000
Rak Sel Surya**	56	buah	Rp 462,500	Rp 25,900,000
Biaya Pengerjaan Rak***	1	kali	Rp 6,000,000	Rp 6,000,000
Biaya Pengiriman Material***	1	kali	Rp 2,000,000	Rp 2,000,000
Total Biaya Investasi				Rp 226,584,018

(\*PT. Azet Surya Lestari; \*\*Contained Energy Indonesia; \*\*\*Anugerah Dewata)

### 3.3.2 Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya untuk sistem PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal untuk

komponen sistem PLTS (Kaltschmitt dkk, 2007). Dari informasi tersebut maka untuk studi kasus penelitian ini besar biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahun ditetapkan 1% dari total biaya investasi awal setiap komponen. Biaya operasional dan pemeliharaan ini dianggap mencakup biaya pembersihan panel surya serta biaya pemeliharaan dan pemeriksaan komponen sistem PLTS. Penetapan angka 1% untuk biaya operasional dan pemeliharaan dari sistem PLTS adalah dengan dasar bahwa negara Indonesia hanya mengalami 2 musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Sehingga, biaya operasional dan pemeliharaan panel surya dan komponen sistem PLTS lainnya dianggap tidak sebesar dengan biaya operasional dan pemeliharaan untuk sistem PLTS di negara yang mengalami 4 musim. Selain itu, penentuan angka 1% untuk biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS juga dapat dilihat juga dari tingkat upah tenaga kerja di Indonesia yang cenderung masih rendah.

Untuk itu, total biaya operasional dan pemeliharaan dari kedua jenis sistem PLTS dalam studi kasus penelitian ini adalah:

- Biaya operasional dan pemeliharaan untuk sistem PLTS dengan baterai =  $1\% \times (\text{Rp. } 126.000.000,- + \text{Rp. } 17.795.798,- + \text{Rp. } 162.958.400,- + \text{Rp. } 23.888.220,-) = \text{Rp. } 3.306.424,-$
- Biaya operasional dan pemeliharaan untuk sistem PLTS tanpa baterai =  $1\% \times (\text{Rp. } 126.000.000,- + \text{Rp. } 17.795.798,- + \text{Rp. } 23.888.220,-) = \text{Rp. } 1.676.840,-$

### 3.3.3 Biaya Penjualan dan Pembelian Listrik

Biaya penjualan dan pembelian listrik ini berlaku untuk sistem PLTS yang tidak memakai baterai. Karena sistem PLTS yang terintegrasi dengan sistem kelistrikan dari PLN dan tidak ada cadangan baterai maka ketika panel surya menghasilkan energi listrik dan tidak ada pemakaian dari rumah, maka seluruh energi listrik yang dihasilkan akan masuk ke dalam sistem jaringan listrik PLN. Begitu juga sebaliknya ketika tidak ada energi listrik yang dihasilkan dari panel surya dan ada pemakaian listrik dari rumah, maka listrik yang dibutuhkan itu diambil dari sistem jaringan listrik PLN. Oleh sebab itu ada perhitungan biaya

tambahan untuk biaya penjualan dan pembelian listrik dari dan kepada PLN dalam sistem listrik ini.

Menurut Peraturan Menteri ESDM nomor 4 tahun 2012, biaya pembelian energi listrik dari sumber energi baru terbarukan adalah Rp 1.004,- / kWh untuk wilayah pulau Jawa-Bali. Sedangkan dalam Peraturan Presiden nomor 8 tahun 2011, biaya penjualan listrik untuk tingkatan rumah tangga dikenakan Rp 790,- / kWh sampai Rp.795,-/ kWh. Oleh karena itu, maka untuk perhitungan biaya penjualan dan pembelian listrik menggunakan informasi tersebut.

#### **3.3.4 Pengolahan Alur Kas Sistem PLTS**

Untuk melihat kelayakan dari investasi proyek rancangan sistem PLTS untuk di rumah, maka adalah penting untuk melihat dari nilai alur kas proyek. Untuk pengolahan alur kas dalam penelitian ini dibagi atas 2 jenis alur kas sesuai sistem PLTS memakai baterai dan tanpa baterai. Masing-masing jenis alur kas sistem PLTS dibagi menjadi 4 jenis sesuai dengan kategori rumah.

Setiap alur kas dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama 25 tahun (berdasarkan perkiraan umur komponen sistem PLTS), dengan penggunaan *discount rate* 11%. Berikut berturut-turut adalah 4 alur kas dari sistem PLTS memakai baterai.

**Tabel 3.10** Alur Kas Rumah Kategori A Sistem PLTS dengan Baterai

Tahun	Biaya Investasi	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth Factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp389,542,418)	Rp0	Rp0	(Rp389,542,418)	1.00	(Rp389,542,418)	(Rp389,542,418)
1		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.90	Rp749,829	(Rp388,792,589)
2		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.81	Rp675,522	(Rp388,117,067)
3		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.73	Rp608,578	(Rp387,508,489)
4		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.66	Rp548,269	(Rp386,960,221)
5		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.59	Rp493,936	(Rp386,466,285)
6		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.53	Rp444,987	(Rp386,021,298)
7		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.48	Rp400,889	(Rp385,620,409)
8		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.43	Rp361,161	(Rp385,259,247)
9		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.39	Rp325,371	(Rp384,933,877)
10		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.35	Rp293,127	(Rp384,640,750)
11		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.32	Rp264,078	(Rp384,376,672)
12		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.29	Rp237,908	(Rp384,138,763)
13		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.26	Rp214,332	(Rp383,924,432)
14		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.23	Rp193,092	(Rp383,731,340)
15		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.21	Rp173,956	(Rp383,557,384)
16		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.19	Rp156,718	(Rp383,400,666)
17		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.17	Rp141,187	(Rp383,259,479)
18		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.15	Rp127,195	(Rp383,132,284)
19		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.14	Rp114,591	(Rp383,017,693)
20		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.12	Rp103,235	(Rp382,914,458)
21		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.11	Rp93,004	(Rp382,821,454)
22		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.10	Rp83,788	(Rp382,737,667)
23		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.09	Rp75,484	(Rp382,662,182)
24		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.08	Rp68,004	(Rp382,594,178)
25		Rp4,138,734	(Rp3,306,424)	Rp832,310	0.07	Rp61,265	(Rp382,532,914)
					NPV	(Rp382,532,914)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari pengurangan biaya pembayaran listrik di rumah kategori A setiap bulan Rp.345.000,- karena sekitar 77% energi listrik setiap harinya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS.
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *payback period* untuk alur kas ini adalah 63 tahun dan *benefit cost ratio* sebesar 0,089.

**Tabel 3.11** Alur Kas Rumah Kategori B Sistem PLTS dengan Baterai

Tahun	Biaya Investasi	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp389,542,418)	Rp0	Rp0	(Rp389,542,418)	1.00	(Rp389,542,418)	(Rp389,542,418)
1		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.90	Rp1,345,564	(Rp388,196,854)
2		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.81	Rp1,212,220	(Rp386,984,635)
3		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.73	Rp1,092,090	(Rp385,892,545)
4		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.66	Rp983,865	(Rp384,908,680)
5		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.59	Rp886,365	(Rp384,022,316)
6		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.53	Rp798,527	(Rp383,223,789)
7		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.48	Rp719,393	(Rp382,504,396)
8		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.43	Rp648,102	(Rp381,856,293)
9		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.39	Rp583,876	(Rp381,272,418)
10		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.35	Rp526,014	(Rp380,746,403)
11		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.32	Rp473,887	(Rp380,272,517)
12		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.29	Rp426,925	(Rp379,845,592)
13		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.26	Rp384,617	(Rp379,460,975)
14		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.23	Rp346,502	(Rp379,114,473)
15		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.21	Rp312,164	(Rp378,802,309)
16		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.19	Rp281,229	(Rp378,521,080)
17		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.17	Rp253,359	(Rp378,267,721)
18		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.15	Rp228,252	(Rp378,039,470)
19		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.14	Rp205,632	(Rp377,833,838)
20		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.12	Rp185,254	(Rp377,648,584)
21		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.11	Rp166,896	(Rp377,481,688)
22		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.10	Rp150,356	(Rp377,331,332)
23		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.09	Rp135,456	(Rp377,195,876)
24		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.08	Rp122,033	(Rp377,073,843)
25		Rp4,800,000	Rp3,306,424	Rp1,493,576	0.07	Rp109,939	(Rp376,963,904)
					NPV	(Rp376,963,904)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari pengurangan biaya pembayaran listrik di rumah kategori B setiap bulan Rp.400.000,- dan keseluruhan energi listrik setiap harinya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS.
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *payback period* untuk alur kas ini adalah 57 tahun dan *benefit cost ratio* sebesar 0,31.



**Tabel 3.12** Alur Kas Rumah Kategori C Sistem PLTS dengan Baterai

Tahun	Biaya Investasi	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp389,542,418)	Rp0	Rp0	(Rp389,542,418)	1.00	(Rp389,542,418)	(Rp389,542,418)
1		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.90	Rp805,023	(Rp388,737,395)
2		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.81	Rp725,246	(Rp388,012,149)
3		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.73	Rp653,375	(Rp387,358,774)
4		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.66	Rp588,626	(Rp386,770,148)
5		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.59	Rp530,294	(Rp386,239,854)
6		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.53	Rp477,742	(Rp385,762,112)
7		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.48	Rp430,398	(Rp385,331,713)
8		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.43	Rp387,746	(Rp384,943,967)
9		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.39	Rp349,321	(Rp384,594,646)
10		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.35	Rp314,704	(Rp384,279,943)
11		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.32	Rp283,517	(Rp383,996,426)
12		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.29	Rp255,420	(Rp383,741,006)
13		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.26	Rp230,109	(Rp383,510,897)
14		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.23	Rp207,305	(Rp383,303,592)
15		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.21	Rp186,761	(Rp383,116,831)
16		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.19	Rp168,253	(Rp382,948,577)
17		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.17	Rp151,580	(Rp382,796,998)
18		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.15	Rp136,558	(Rp382,660,440)
19		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.14	Rp123,025	(Rp382,537,414)
20		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.12	Rp110,834	(Rp382,426,581)
21		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.11	Rp99,850	(Rp382,326,730)
22		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.10	Rp89,955	(Rp382,236,775)
23		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.09	Rp81,041	(Rp382,155,735)
24		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.08	Rp73,010	(Rp382,082,725)
25		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.07	Rp65,774	(Rp382,016,951)
						(Rp382,016,951)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari pengurangan biaya pembayaran listrik di rumah kategori C setiap bulan Rp.350.000,- dan keseluruhan energi listrik setiap harinya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS.
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *payback period* untuk alur kas ini adalah 62 tahun dan *benefit cost ratio* sebesar 0,27.

**Tabel 3.13** Alur Kas Rumah Kategori D Sistem PLTS dengan Baterai

Tahun	Biaya investas	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth Factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp389,542,418)	Rp0	Rp0	(Rp389,542,418)	1.00	(Rp389,542,418)	(Rp389,542,418)
1		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.90	Rp805,023	(Rp388,737,395)
2		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.81	Rp725,246	(Rp388,012,149)
3		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.73	Rp653,375	(Rp387,358,774)
4		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.66	Rp588,626	(Rp386,770,148)
5		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.59	Rp530,294	(Rp386,239,854)
6		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.53	Rp477,742	(Rp385,762,112)
7		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.48	Rp430,398	(Rp385,331,713)
8		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.43	Rp387,746	(Rp384,943,967)
9		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.39	Rp349,321	(Rp384,594,646)
10		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.35	Rp314,704	(Rp384,279,943)
11		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.32	Rp283,517	(Rp383,996,426)
12		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.29	Rp255,420	(Rp383,741,006)
13		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.26	Rp230,109	(Rp383,510,897)
14		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.23	Rp207,305	(Rp383,303,592)
15		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.21	Rp186,761	(Rp383,116,831)
16		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.19	Rp168,253	(Rp382,948,577)
17		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.17	Rp151,580	(Rp382,796,998)
18		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.15	Rp136,558	(Rp382,660,440)
19		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.14	Rp123,025	(Rp382,537,414)
20		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.12	Rp110,834	(Rp382,426,581)
21		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.11	Rp99,850	(Rp382,326,730)
22		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.10	Rp89,955	(Rp382,236,775)
23		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.09	Rp81,041	(Rp382,155,735)
24		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.08	Rp73,010	(Rp382,082,725)
25		Rp4,200,000	Rp3,306,424	Rp893,576	0.07	Rp65,774	(Rp382,016,951)
						(Rp382,016,951)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari pengurangan biaya pembayaran listrik di rumah kategori D setiap bulan Rp.350.000,- dan keseluruhan energi listrik setiap harinya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS.
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *payback period* untuk alur kas ini adalah 62 tahun dan *benefit cost ratio* sebesar 0,27.

Selanjutnya, berikut berturut-turut adalah empat alur kas dari sistem PLTS tanpa memakai baterai. Dalam sistem ini dianggap ada penjualan energi listrik dari sistem PLTS ke PLN dan ada pembelian energi listrik dari PLN ke sistem listrik di rumah. Harga untuk energi listrik yang dijual ke PLN sebesar Rp.1.004,- dan harga untuk energi listrik yang dibeli dari PLN sebesar Rp. 792,-.

**Tabel 3.14** Alur Kas Rumah Kategori A Sistem PLTS tanpa Baterai

Tahun	Biaya Investasi	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth Factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp226,584,018)	Rp0	Rp0	(Rp226,584,018)	1.00	(Rp226,584,018)	(Rp228,200,407)
1		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.90	(Rp1,616,389)	(Rp3,072,595)
2		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.81	(Rp1,456,206)	(Rp2,768,104)
3		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.73	(Rp1,311,897)	(Rp2,493,787)
4		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.66	(Rp1,181,890)	(Rp2,246,655)
5		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.59	(Rp1,064,765)	(Rp2,024,013)
6		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.53	(Rp959,248)	(Rp1,823,436)
7		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.48	(Rp864,187)	(Rp1,642,735)
8		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.43	(Rp778,547)	(Rp1,479,941)
9		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.39	(Rp701,394)	(Rp1,333,280)
10		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.35	(Rp631,886)	(Rp1,201,153)
11		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.32	(Rp569,267)	(Rp1,082,120)
12		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.29	(Rp512,853)	(Rp974,883)
13		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.26	(Rp462,030)	(Rp878,273)
14		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.23	(Rp416,243)	(Rp791,237)
15		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.21	(Rp374,994)	(Rp712,826)
16		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.19	(Rp337,832)	(Rp642,186)
17		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.17	(Rp304,353)	(Rp578,546)
18		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.15	(Rp274,192)	(Rp521,212)
19		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.14	(Rp247,020)	(Rp469,561)
20		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.12	(Rp222,541)	(Rp423,028)
21		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.11	(Rp200,487)	(Rp381,106)
22		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.10	(Rp180,619)	(Rp343,339)
23		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.09	(Rp162,720)	(Rp309,314)
24		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.08	(Rp146,594)	(Rp278,661)
25		Rp4,013,058	Rp5,807,249	(Rp1,794,192)	0.07	(Rp132,067)	(Rp241,826,309)
				NPV		(Rp241,694,242)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari hasil penjualan energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS di rumah kategori A setiap bulan Rp.330.000,- karena sekitar 330 kWh energi listrik setiap bulannya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS ditambah dengan biaya pembelian listrik untuk pemenuhan kebutuhan di rumah pada saat sistem PLTS tidak bekerja (malam hari).
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *benefit cost ratio* untuk alur kas ini sebesar 0,15.

**Tabel 3.15** Alur Kas Rumah Kategori B Sistem PLTS tanpa Baterai

Tahun	Biaya Investasi	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp226,584,018)	Rp0	Rp0	(Rp226,584,018)	1.00	(Rp226,584,018)	(Rp226,584,018)
1		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.90	(Rp666,906)	(Rp227,250,924)
2		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.81	(Rp600,817)	(Rp227,851,741)
3		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.73	(Rp541,276)	(Rp228,393,017)
4		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.66	(Rp487,636)	(Rp228,880,654)
5		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.59	(Rp439,312)	(Rp229,319,966)
6		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.53	(Rp395,777)	(Rp229,715,742)
7		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.48	(Rp356,555)	(Rp230,072,297)
8		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.43	(Rp321,221)	(Rp230,393,519)
9		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.39	(Rp289,388)	(Rp230,682,907)
10		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.35	(Rp260,710)	(Rp230,943,617)
11		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.32	(Rp234,874)	(Rp231,178,491)
12		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.29	(Rp211,598)	(Rp231,390,090)
13		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.26	(Rp190,629)	(Rp231,580,719)
14		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.23	(Rp171,738)	(Rp231,752,457)
15		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.21	(Rp154,719)	(Rp231,907,175)
16		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.19	(Rp139,386)	(Rp232,046,562)
17		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.17	(Rp125,573)	(Rp232,172,135)
18		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.15	(Rp113,129)	(Rp232,285,264)
19		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.14	(Rp101,918)	(Rp232,387,182)
20		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.12	(Rp91,818)	(Rp232,479,000)
21		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.11	(Rp82,719)	(Rp232,561,719)
22		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.10	(Rp74,522)	(Rp232,636,241)
23		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.09	(Rp67,137)	(Rp232,703,378)
24		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.08	(Rp60,483)	(Rp232,763,861)
25		Rp4,013,058	Rp4,753,324	(Rp740,266)	0.07	(Rp54,490)	(Rp232,818,351)
				NPV		(Rp232,818,351)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari hasil penjualan energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS di rumah kategori A setiap bulan Rp.330.000,- karena sekitar 330 kWh energi listrik setiap bulannya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS ditambah dengan biaya pembelian listrik untuk pemenuhan kebutuhan di rumah pada saat sistem PLTS tidak bekerja (malam hari).
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *benefit cost ratio* untuk alur kas ini sebesar 0,15.

**Tabel 3.16** Alur Kas Rumah Kategori C Sistem PLTS tanpa Baterai

Tahun	Biaya investas	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth Factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp226,584,018)	Rp0	Rp0	(Rp226,584,018)	1.00	(Rp226,584,018)	(Rp226,584,018)
1		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.90	Rp415,470	(Rp226,168,548)
2		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.81	Rp374,297	(Rp225,794,251)
3		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.73	Rp337,205	(Rp225,457,047)
4		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.66	Rp303,788	(Rp225,153,259)
5		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.59	Rp273,683	(Rp224,879,576)
6		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.53	Rp246,561	(Rp224,633,015)
7		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.48	Rp222,127	(Rp224,410,888)
8		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.43	Rp200,115	(Rp224,210,773)
9		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.39	Rp180,283	(Rp224,030,490)
10		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.35	Rp162,417	(Rp223,868,072)
11		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.32	Rp146,322	(Rp223,721,750)
12		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.29	Rp131,822	(Rp223,589,929)
13		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.26	Rp118,758	(Rp223,471,171)
14		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.23	Rp106,989	(Rp223,364,181)
15		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.21	Rp96,387	(Rp223,267,794)
16		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.19	Rp86,835	(Rp223,180,959)
17		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.17	Rp78,230	(Rp223,102,730)
18		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.15	Rp70,477	(Rp223,032,252)
19		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.14	Rp63,493	(Rp222,968,759)
20		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.12	Rp57,201	(Rp222,911,559)
21		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.11	Rp51,532	(Rp222,860,026)
22		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.10	Rp46,426	(Rp222,813,601)
23		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.09	Rp41,825	(Rp222,771,776)
24		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.08	Rp37,680	(Rp222,734,096)
25		Rp4,013,058	Rp3,551,886	Rp461,171	0.07	Rp33,946	(Rp222,700,150)
				NPV		(Rp222,700,150)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari hasil penjualan energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS di rumah kategori A setiap bulan Rp.330.000,- karena sekitar 330 kWh energi listrik setiap bulannya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS ditambah dengan biaya pembelian listrik untuk pemenuhan kebutuhan di rumah pada saat sistem PLTS tidak bekerja (malam hari).
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *payback period* untuk alur kas ini adalah 63 tahun dan *profitability index* sebesar 0,15.

**Tabel 3.17** Alur Kas Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai

Tahun	Biaya Investasi	Arus kas masuk	Arus kas keluar	Arus kas bersih	Present worth factor (i=11%)	PVNCF	Cummulative PVNCF
0	(Rp226,584,018)	Rp0	Rp0	(Rp226,584,018)	1.00	(Rp226,584,018)	(Rp226,584,018)
1		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.90	Rp63,506	(Rp226,520,512)
2		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.81	Rp57,213	(Rp226,463,299)
3		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.73	Rp51,543	(Rp226,411,756)
4		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.66	Rp46,435	(Rp226,365,321)
5		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.59	Rp41,834	(Rp226,323,487)
6		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.53	Rp37,688	(Rp226,285,799)
7		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.48	Rp33,953	(Rp226,251,846)
8		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.43	Rp30,588	(Rp226,221,258)
9		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.39	Rp27,557	(Rp226,193,701)
10		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.35	Rp24,826	(Rp226,168,875)
11		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.32	Rp22,366	(Rp226,146,509)
12		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.29	Rp20,149	(Rp226,126,360)
13		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.26	Rp18,153	(Rp226,108,207)
14		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.23	Rp16,354	(Rp226,091,853)
15		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.21	Rp14,733	(Rp226,077,120)
16		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.19	Rp13,273	(Rp226,063,847)
17		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.17	Rp11,958	(Rp226,051,889)
18		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.15	Rp10,773	(Rp226,041,117)
19		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.14	Rp9,705	(Rp226,031,411)
20		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.12	Rp8,743	(Rp226,022,668)
21		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.11	Rp7,877	(Rp226,014,791)
22		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.10	Rp7,096	(Rp226,007,695)
23		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.09	Rp6,393	(Rp226,001,302)
24		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.08	Rp5,760	(Rp225,995,542)
25		Rp4,013,058	Rp3,942,566	Rp70,492	0.07	Rp5,189	(Rp225,990,353)
				NPV		(Rp225,990,353)	

Rincian perhitungan alur kas di atas adalah:

- Alur kas masuk dari hasil penjualan energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS di rumah kategori A setiap bulan Rp.330.000,- karena sekitar 330 kWh energi listrik setiap bulannya didapatkan dari sistem PLTS.
- Alur kas keluar dari biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS ditambah dengan biaya pembelian listrik untuk pemenuhan kebutuhan di rumah pada saat sistem PLTS tidak bekerja (malam hari).
- Dari tabel ini dapat diketahui hasil *payback period* untuk alur kas ini adalah 81 tahun dan *profitability index* sebesar 0,15.

## BAB 4 ANALISIS DATA

### 4.1. Analisis Kelayakan

#### 4.1.1 Analisis Kelayakan Sistem PLTS Menggunakan Baterai

Dari pengolahan data yang dilakukan pada bab sebelumnya mengenai perhitungan indikator kelayakan untuk rancangan sistem PLTS menggunakan baterai, maka hasilnya adalah seperti pada tabel 4.1. Pada tabel ini hasil pengolahan data dikategorikan sesuai kategori rumah.

**Tabel 4.1** Hasil Pengolahan Data Sistem PLTS dengan Baterai

Kategori Rumah	Indikator Kelayakan		
	<i>Net Present Value</i> (NPV) (Rp. 382.532.914,-)	PP (tahun)	B/C Ratio
Rumah Kategori A	(Rp. 382.532.914,-)	63	0,089
Rumah Kategori B	(Rp. 371.910.857,-)	54	0,31
Rumah Kategori C	(Rp. 376.963.904,-)	57	0,27
Rumah Kategori D	(Rp. 376.963.904,-)	57	0,27

Secara keseluruhan, angka-angka di tabel menunjukkan tidak ada kategori rumah yang layak untuk rancangan sistem PLTS menggunakan baterai. Hal ini sangat lumrah mengingat bahwa perhitungan investasi awal untuk rancangan proyek ini sangat besar (sekitar Rp. 390.000.000,-) namun uang yang disimpan dari energi listrik yang tidak dibayarkan untuk menjadi bagian dari *cash-in* sangat kecil (hanya sekitar Rp. 400.000,-) setiap bulannya. Selain itu, perhitungan rancangan proyek sistem PLTS ini juga setiap tahunnya mengharuskan untuk mengeluarkan uang operasional dan pemeliharaan sebesar 1% dari total biaya investasi komponen sistem PLTS yang digunakan. Hal ini juga menyebabkan nilai alur kas bersih setiap tahunnya menjadi semakin kecil sehingga proyek ini menjadi tidak layak secara perhitungan ekonomis.

Adapun sebenarnya uang operasional dan pemeliharaan ini bisa diminimalisir mengingat peralatan komponen sistem PLTS merupakan komponen



yang tidak bergerak (berada dalam tempat dan posisi yang tetap)<sup>6</sup>. Apabila pemakai sistem PLTS dapat merawat komponen-komponen tersebut dengan sering melakukan pengecekan berkala, seharusnya biaya ini dapat ditekan agar proyek ini bisa semakin menguntungkan. Selain itu, beberapa kontraktor untuk jasa pembuatan sistem PLTS juga ada yang menawarkan asuransi untuk semua komponen sistem PLTS, sehingga pemilik sistem PLTS dapat dengan mudah membayar jasa mereka saja dalam melakukan pengecekan berkala kepada sistem PLTS (Contained Energy Indonesia, 2011). Alasan lainnya untuk dapat mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan adalah karena komponen-komponen yang digunakan dalam perhitungan perancangan sistem PLTS ini adalah barang-barang yang dengan kualitas baik dan diproduksi dari negara-negara yang dikenal dengan sistem teknologi yang tinggi dan memperhatikan tingkat kualitas yang baik seperti Jerman (untuk *inverter* dan *controller*) dan Kanada (baterai *deep cycle*).

#### 4.1.2 Analisis Kelayakan Sistem PLTS Tanpa Baterai

Pada bab sebelumnya, telah dilakukan juga pengolahan mengenai perhitungan indikator kelayakan untuk rancangan sistem PLTS tanpa menggunakan baterai, maka hasilnya adalah seperti pada tabel 4.2. Pada tabel ini hasil pengolahan data dibagi sesuai jenis kategori rumah.

**Tabel 4.2** Hasil Pengolahan Data Sistem PLTS tanpa Baterai

Kategori Rumah	Indikator Kelayakan		
	<i>Net Present Value</i> (NPV)	PP (tahun)	B/C Ratio
Rumah Kategori A	(Rp. 241.694.242,-)	-	0,15
Rumah Kategori B	(Rp. 232.818.351,-)	-	0,15
Rumah Kategori C	(Rp. 222.700.150,-)	63	0,15
Rumah Kategori D	(Rp. 225.990.353,-)	81	0,15

Bila dilihat dari seluruh nilai NPV, maka dapat terlihat bahwa semua kategori rumah tidak layak untuk mengimplementasikan sistem PLTS tanpa

<sup>6</sup> Informasi Umum PLTS, PT. Azet Surya Lestari, [www.azetsurya.com](http://www.azetsurya.com), 8 Mei 2012



baterai. Nilai listrik yang dijual dari sistem PLTS ke PLN diberi harga Rp. 1.004,-/kWh. Adapun nilai listrik yang dijual tersebut ternyata tidak terlalu besar sehingga untuk tiap tahunnya, proyeksi alur kas bersih dari rancangan sistem PLTS jenis ini sangatlah kecil dan menghasilkan nilai indikator kelayakan proyek ini menunjukkan hasil yang sangat kecil atau tidak layak.

Untuk kategori rumah A dan kategori rumah B nilai PP tidak diketahui. Hal ini dikarenakan karena nilai dari alur kas yang masuk bahkan lebih kecil nilainya dibandingkan alur kas keluar. Hal ini dapat terjadi karena dalam alur kas kedua kategori rumah ini melihat nilai harga jual listrik ke PLN tidak dapat memenuhi dengan nilai harga beli listrik dari PLN yang kemudian ditambah dengan biaya operasional dan pemeliharaan tahunan sistem PLTS. Untuk rumah kategori C dan D, nilai penjualan listrik dari sistem PLTS ke PLN pada siang hari memiliki selisih lebih besar sedikit dari nilai pembelian listrik pada malam hari yang ditambah dengan biaya operasional dan pemeliharaan sistem. Hal ini menyebabkan nilai PP dan B/C Ratio untuk sistem PLTS tanpa baterai lebih besar daripada nilai PP dan B/C Ratio untuk sistem PLTS dengan baterai.

Selain itu, sama seperti alasan sebelumnya, bahwa nilai biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS sebenarnya bisa diminimalisir dengan cara penggunaan dan pemeliharaan yang baik untuk sistem secara berkala dari setiap pemilik sistem atau bisa meminta jasa kontraktor penyedia sistem PLTS yang menyediakan asuransi untuk melakukan pemeliharaan sistem secara berkala.

#### **4.2 Analisis Sensitivitas**

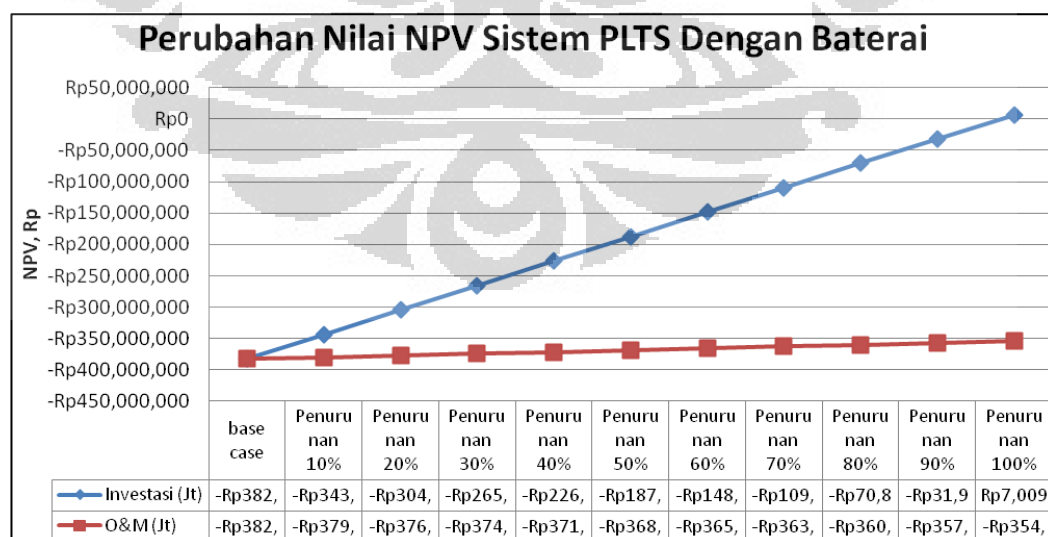
Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui seberapa sensitif pengaruh setiap perubahan komponen-komponen dalam alur kas seperti penurunan biaya investasi awal dan harga operasional dan pemeliharaan, kenaikan harga listrik yang dijual dari sistem PLTS ke PLN dan peningkatan efisiensi sistem PLTS yang dirancang.

Adapun dalam analisis sensitivitas ini, perubahan nilai dari setiap komponen akan dibandingkan dengan sistem alur kas pada kondisi awal (*base case*) dan akan dilihat terhadap perubahan nilai NPV untuk masing-masing alur kas. Analisis sensitivitas ini akan dibuat untuk melihat keadaan perubahan dari

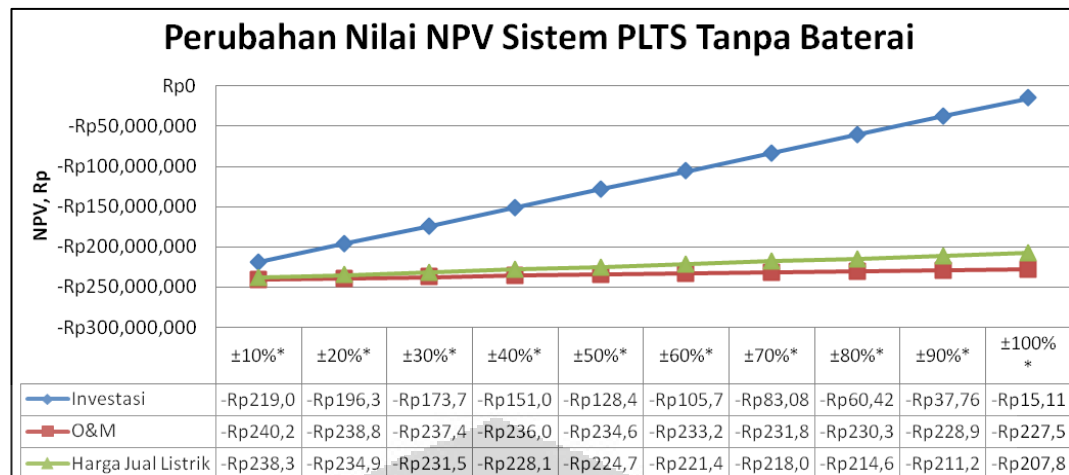
nilai NPV setiap alur kas per kategori jenis rumah. Hal ini berguna untuk melihat perubahan dari komponen alur kas yang mana yang sangat mempengaruhi perubahan nilai NPV. Untuk jarak perubahan (*range*) analisis sensitivitas setiap komponen adalah sebesar 10% karena untuk lebih memudahkan dan dalam beberapa referensi yang menggunakan analisis sensitivitas juga mengambil nilai *range* sebesar ini. Dalam setiap analisis sensitivitas, komponen perubahan yang dilihat untuk kedua sistem PLTS adalah perubahan penurunan nilai biaya investasi sistem dan penurunan nilai biaya operasional dan pemeliharaan. Tambahan bagi sistem PLTS tanpa baterai, analisis sensitivitas dilakukan juga dengan melihat nilai perubahan kenaikan nilai jual energi listrik dari sistem PLTS ke PLN.

#### 4.2.1 Perubahan Nilai NPV Untuk Alur Kas Rumah Kategori A

Dari kedua gambar grafik di bawah ini, ternyata perubahan nilai investasi adalah faktor yang paling berpengaruh untuk nilai NPV dalam alur kas untuk kedua jenis sistem PLTS dalam alur kas rumah kategori A. Hal ini ditunjukkan dari kemiringan garis warna biru bila dibandingkan dengan kemiringan garis warna lainnya. Dari gambar grafik 4.1 terlihat bahwa saat nilai investasi bisa diturunkan hingga 100% baru nilai NPV akan mencapai lebih besar dari nol dan berarti mencapai titik kelayakannya (Rp.7.009.504,-).



**Gambar 4.1** NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori A Sistem PLTS dengan Baterai



\*— untuk penurunan nilai investasi dan O&M; + untuk kenaikan nilai jual listrik

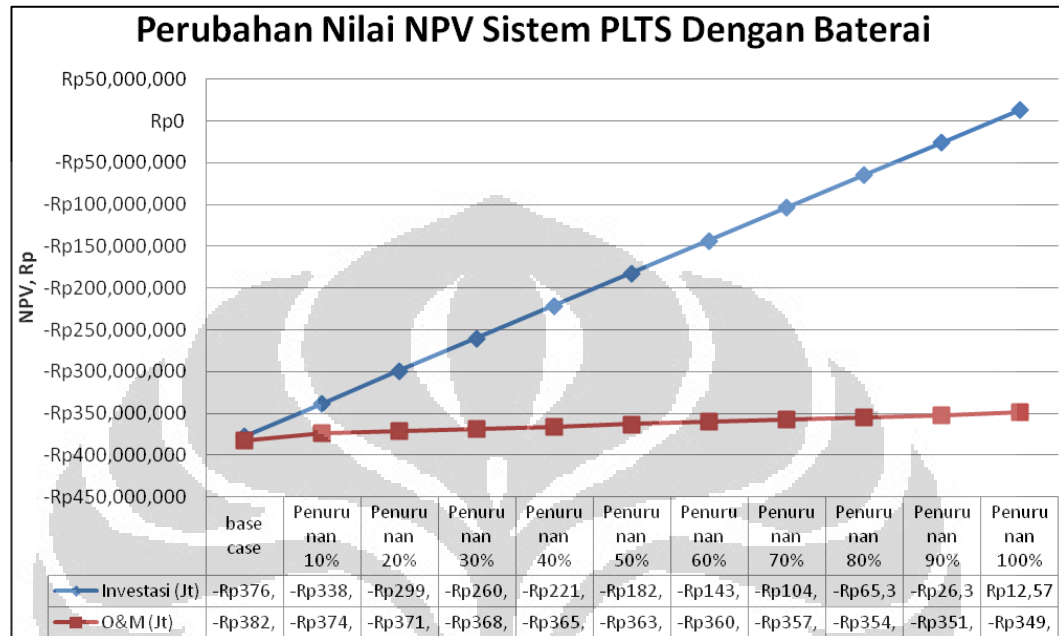
**Gambar 4.2** NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori A Sistem PLTS tanpa Baterai

Untuk gambar 4.2, grafik menunjukkan tidak ada titik nilai NPV yang mencapai di atas garis nol. Bahkan untuk penurunan nilai investasi hingga 100%, nilai NPV yang dicapai masih lebih kecil dari 0 (-Rp.15.110.224). Hal ini terjadi karena apabila dilihat dalam alur kas untuk sistem PLTS tanpa baterai di rumah kategori A pada bab sebelumnya, nilai pemasukan (*cash in*) dalam alur kas tersebut lebih kecil dibandingkan dengan nilai pengeluaran (*cash out*). Nilai pemasukan yang didapat dari nilai penjualan listrik dari sistem PLTS ke PLN rupanya lebih kecil daripada nilai pembelian listrik dari PLN ke rumah yang kemudian ditambah dengan adanya biaya operasional dan pemeliharaan sistem setiap tahunnya. Rumah yang termasuk kategori A juga ternyata membutuhkan energi listrik yang lebih besar daripada energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS. Sehingga nilai penjualan listrik dari sistem PLTS kepada PLN pada siang hari tidak akan mencukupi juga untuk nilai pembayaran kebutuhan listrik di rumah untuk malam hari. Apalagi jika harus ditambahkan biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya.

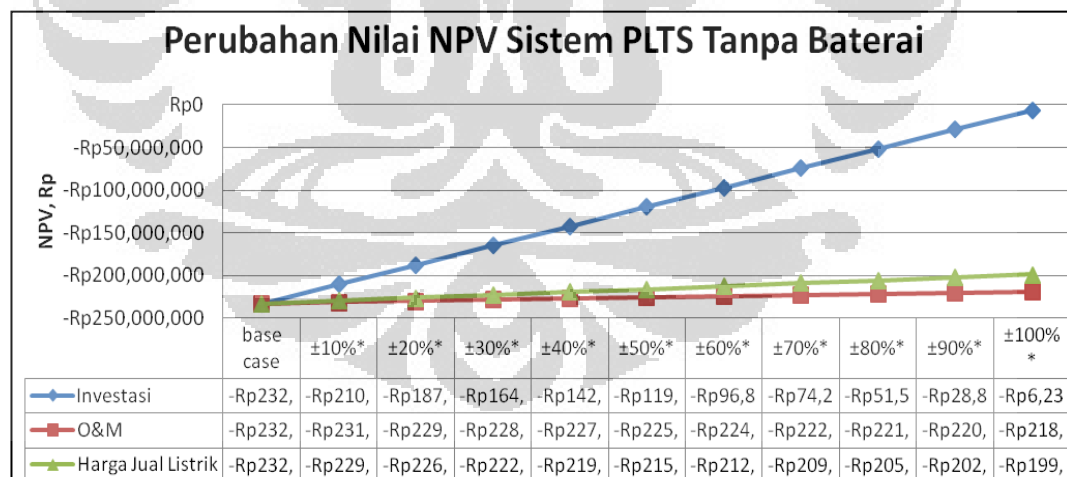
#### 4.2.2 Perubahan Nilai NPV Untuk Alur Kas Rumah Kategori B

Pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 di bawah ini, ternyata perubahan nilai investasi adalah perubahan komponen yang paling berpengaruh untuk nilai NPV dalam alur kas untuk kedua jenis sistem PLTS dalam alur kas rumah kategori B.

Hal ini ditunjukkan dari kemiringan garis warna biru bila dibandingkan dengan kemiringan garis warna lainnya. Untuk gambar 4.3 terlihat bahwa saat nilai investasi bisa diturunkan hingga 100% baru nilai NPV akan mencapai lebih besar dari nol dan berarti mencapai titik kelayakannya (Rp. 12.578.514).



**Gambar 4.3** NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori B Sistem PLTS dengan Baterai

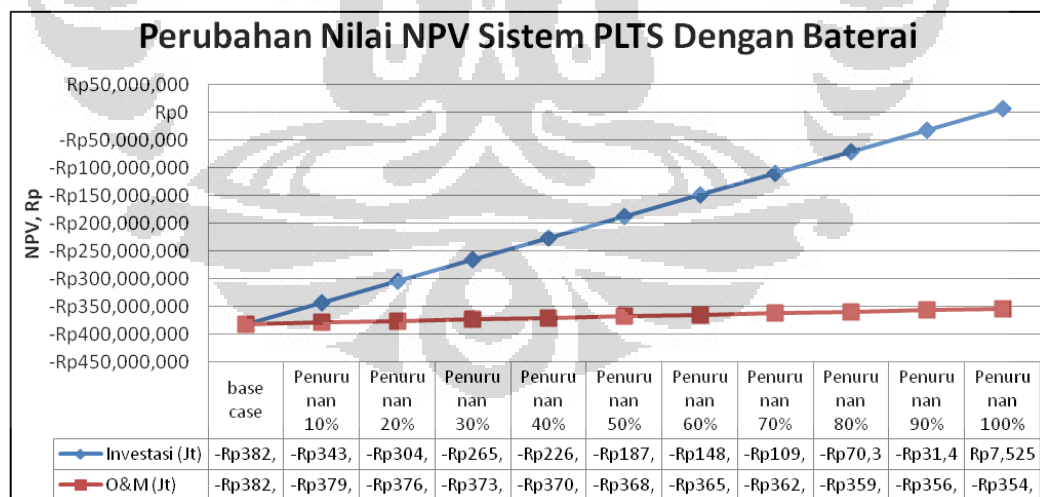


\*— untuk penurunan nilai investasi dan O&M; + untuk kenaikan nilai jual listrik

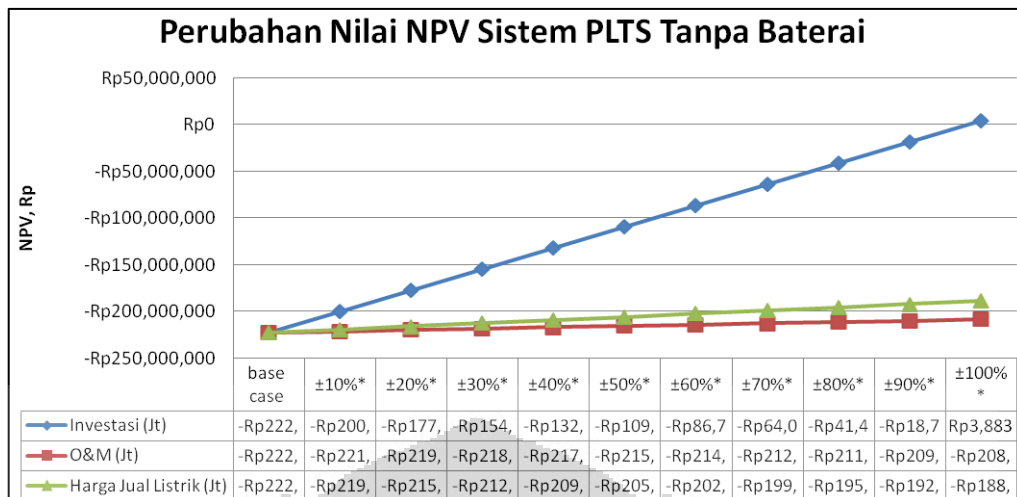
**Gambar 4.4** NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori B Sistem PLTS tanpa Baterai

Pada gambar 4.4 terlihat tidak ada yang menunjukkan titik untuk nilai NPV lebih besar dari 0. Bahkan untuk penurunan nilai investasi hingga 100%, nilai NPV yang dicapai masih lebih kecil dari 0 (-Rp.6.234.333). Hal ini terjadi karena apabila dilihat dalam alur kas untuk sistem PLTS tanpa baterai di rumah kategori B dari bab sebelumnya, nilai pemasukan (*cash in*) dalam alur kas tersebut lebih kecil dibandingkan dengan nilai pengeluaran (*cash out*). Nilai pemasukan yang didapat dari nilai penjualan listrik dari sistem PLTS ke PLN rupanya lebih kecil daripada nilai pembelian listrik dari PLN ke rumah yang kemudian ditambah dengan adanya biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahun. Rumah yang termasuk kategori B ternyata membutuhkan jumlah energi listrik yang sama dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS. Karena itu, nilai penjualan listrik dari sistem PLTS kepada PLN pada siang hari tidak akan mencukupi juga untuk nilai pembayaran kebutuhan listrik di rumah untuk malam hari yang juga harus ditambahkan dengan biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya.

#### 4.2.3 Perubahan Nilai NPV Untuk Alur Kas Rumah Kategori C



**Gambar 4.5** NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori C Sistem PLTS dengan Baterai



\*— untuk penurunan nilai investasi dan O&M; + untuk kenaikan nilai jual listrik

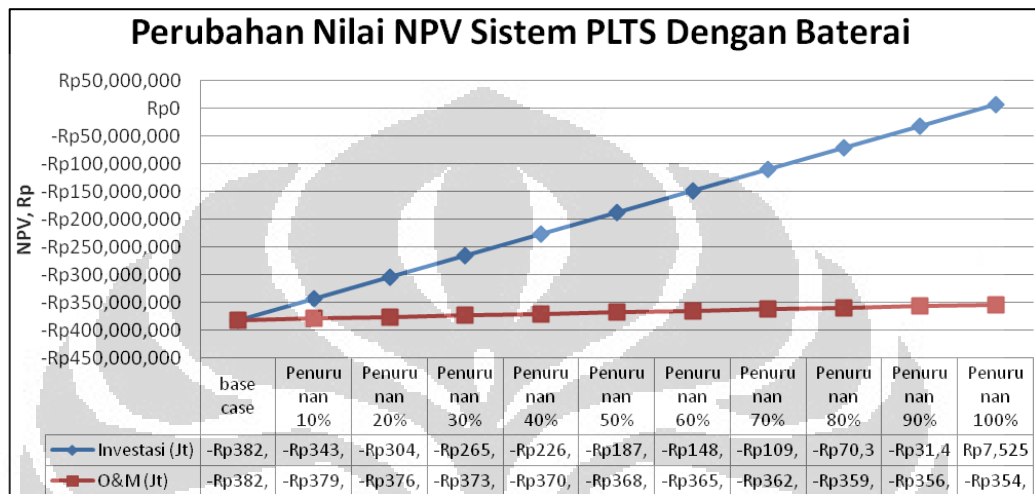
**Gambar 4.6** NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori C Sistem PLTS tanpa Baterai

Pada kedua gambar grafik di atas, ternyata perubahan nilai investasi adalah juga yang paling berpengaruh untuk nilai NPV dalam alur kas untuk kedua jenis sistem PLTS dalam alur kas rumah kategori C. Hal ini ditunjukkan dari kemiringan garis warna biru bila dibandingkan dengan kemiringan garis warna lainnya. Dari kedua gambar grafik di atas juga terlihat bahwa saat nilai investasi bisa diturunkan hingga 100% baru nilai NPV akan mencapai lebih besar dari nol dan berarti mencapai titik kelayakannya. Tetapi dapat terlihat nilai NPV dari alur kas sistem PLTS menggunakan baterai (Rp. 7.527.467,-) ternyata lebih besar dicapai saat penurunan biaya investasi 100% dibandingkan dengan nilai NPV dari alur kas sistem PLTS tanpa baterai (Rp 3.883.868,-). Hal ini terjadi karena nilai alur kas bersih dari alur kas sistem PLTS menggunakan baterai masih lebih besar dari alur kas sistem PLTS tanpa baterai. Nilai alur kas bersih untuk sistem PLTS tanpa baterai didapat dari selisih nilai penjualan listrik sistem PLTS ke PLN yang hanya sedikit saja lebih besar pembelian listrik dari PLN untuk di rumah yang ditambah dengan biaya tahunan untuk pemeliharaan dan operasional sistem.

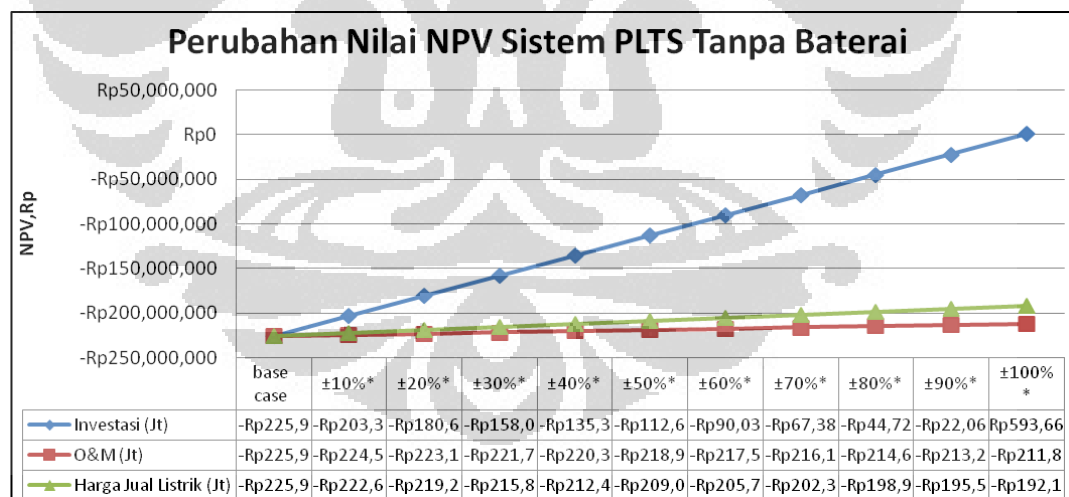
#### 4.2.4 Perubahan Nilai NPV Untuk Alur Kas Rumah Kategori D

Untuk kedua gambar grafik di bawah ini (gambar 4.7 dan gambar 4.8), ternyata perubahan nilai investasi adalah yang paling berpengaruh untuk nilai

NPV dalam alur kas untuk kedua jenis sistem PLTS dalam alur kas rumah kategori D. Hal ini ditunjukkan dari kemiringan garis warna biru bila dibandingkan dengan kemiringan garis warna lainnya. Dari kedua gambar grafik di atas juga terlihat bahwa saat nilai investasi bisa diturunkan hingga 100% baru nilai NPV akan mencapai lebih besar dari nol dan berarti mencapai titik kelayakannya.



**Gambar 4.7** NPV Versus Investasi dan O&M Rumah Kategori D Sistem PLTS dengan Baterai



\*— untuk penurunan nilai investasi dan O&M; + untuk kenaikan nilai jual listrik

**Gambar 4.8** NPV Versus Investasi, Harga Jual Listrik, dan O&M Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai

Bila diperhatikan dengan seksama, nilai NPV saat penurunan biaya investasi 100% dari alur kas sistem PLTS menggunakan baterai (Rp. 7.527.467,-)

yang ditunjukkan pada gambar 4.7 ternyata lebih besar dibandingkan dengan nilai NPV dari alur kas sistem PLTS tanpa baterai (Rp.593.665,-) pada gambar 4.8. Hal ini terjadi karena perbedaan penjualan listrik dari sistem PLTS ke PLN setiap tahunnya hanya sedikit saja lebih besar pembelian listrik dari PLN untuk di rumah pada malam hari yang ditambah dengan biaya tahunan untuk pemeliharaan dan operasional sistem.

Secara keseluruhan ternyata seluruh grafik perubahan nilai NPV untuk seluruh alur kas jenis sistem PLTS di setiap kategori rumah menunjukkan perubahan signifikan untuk penurunan nilai investasi awal sistem. Sebenarnya untuk penurunan nilai investasi 100% mungkin saja terjadi mengingat pemerintah Indonesia pernah membuat program konversi minyak tanah ke gas LPG. Saat itu, pemerintah memberikan insentif yang cukup besar untuk bisa menjalankan program tersebut karena mengingat cadangan minyak Indonesia sudah menipis sehingga perlu dilakukan pembaharuan dalam hal pemakaian sumber daya alam yang terbatas ini. Masyarakat yang masih memakai minyak tanah diminta untuk beralih ke gas LPG yang tabung gasnya sudah disediakan pemerintah secara gratis<sup>7</sup>. Namun juga tampaknya program ini tidak berhasil karena tabung gas LPG yang disediakan pemerintah mudah meledak sehingga tidak aman dan hal teknis lainnya yang belum disiapkan dengan matang.

Sedangkan untuk perubahan nilai NPV yang terlihat pada seluruh grafik yang diakibatkan penurunan nilai biaya operasional dan pemeliharaan sistem setiap tahunnya menunjukkan kemiringan garis yang sangat landai. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS dalam alur kas ini tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan untuk merubah nilai NPV.

Untuk perubahan nilai NPV yang diakibatkan kenaikan nilai penjualan listrik dari gambar grafik bagian sistem PLTS tanpa baterai, ternyata mempunyai kemiringan yang landai; namun jika dibandingkan dengan garis perubahan nilai NPV karena penurunan biaya operasional dan pemeliharaan memang tingkat kemiringannya sedikit lebih tinggi. Adapun perubahan harga jual listrik sistem PLTS dibuat hingga terjadi kenaikan 100% adalah karena mencoba

---

<sup>7</sup> Peraturan Presiden Nomor 104 Tahun 2007



membandingkan dengan harga jual listrik dari sistem PLTS di negara-negara lainnya. Di Malaysia contohnya, harga jual listrik dari sistem PLTS dihargai MYR 1,23 atau sekitar Rp. 3.638,- dan untuk harga jual listrik dari sistem PLTS di Inggris mencapai MYR 2,22 atau sekitar Rp. 6.566,-. Kedua negara ini juga sudah mengaplikasikan panel surya sebagai sumber energi listrik untuk rumah-rumah penduduk di beberapa daerah di negara masing-masing.

#### 4.2.5 Pengaruh Perubahan 2 Komponen Terhadap Nilai NPV

Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan untuk melihat besar perubahan nilai NPV apabila ada perubahan nilai yang terjadi di lebih dari satu komponen dalam alur kas. Analisis ini dilakukan untuk mencari lebih lanjut hasil yang paling optimal pada kondisi yang terjadi dengan adanya dua jenis perubahan dalam komponen alur kas.

##### 4.2.5.1 Pengaruh Perubahan 2 Komponen Terhadap Nilai NPV Untuk Sistem PLTS Menggunakan Baterai

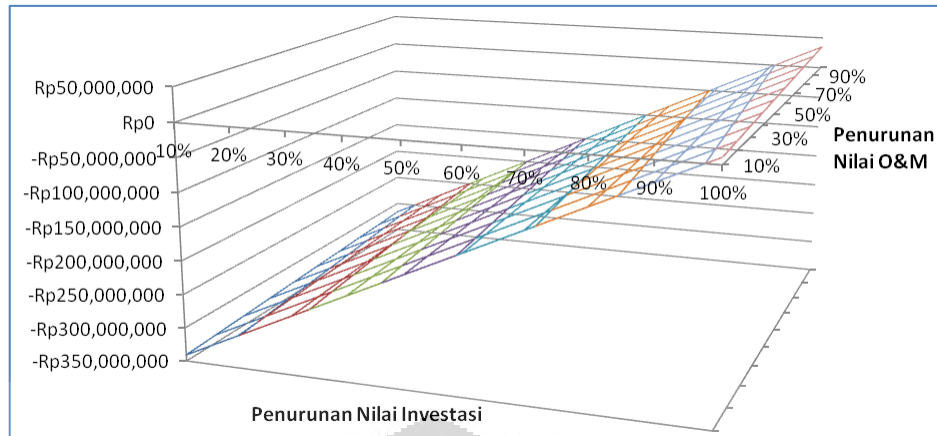
Analisis sensitivitas berikut ini dilakukan untuk melihat perubahan nilai NPV yang terjadi akibat adanya perubahan biaya investasi awal dan perubahan biaya operasional dan pemeliharaan sistem PLTS. Perubahan yang dihitung ingin melihat nilai NPV sampai keadaan bila ada penurunan sebesar 100% untuk kedua jenis biaya ini. Sebenarnya penurunan sebesar 100% ini juga menyamakan dengan konsep perhitungan *levelized cost of electricity* (LCOE) (Ramadhan, 2011). Dari rumus perhitungan itu nantinya hasil LCOE menjadi *cash-in* karena menganggap bahwa biaya sistem PLTS harus diperoleh kembali dengan penggunaan seluruh energi yang diproduksi oleh sistem itu selama jangka waktunya. Rumus perhitungan LCOE adalah:

$$\text{Annual Cost} = (\text{Installation Cost} \times \text{CRF}) + \text{O\&M}$$

$$\text{LCCOE} = \text{Annual Cost} / \text{Annual Output kWh}$$

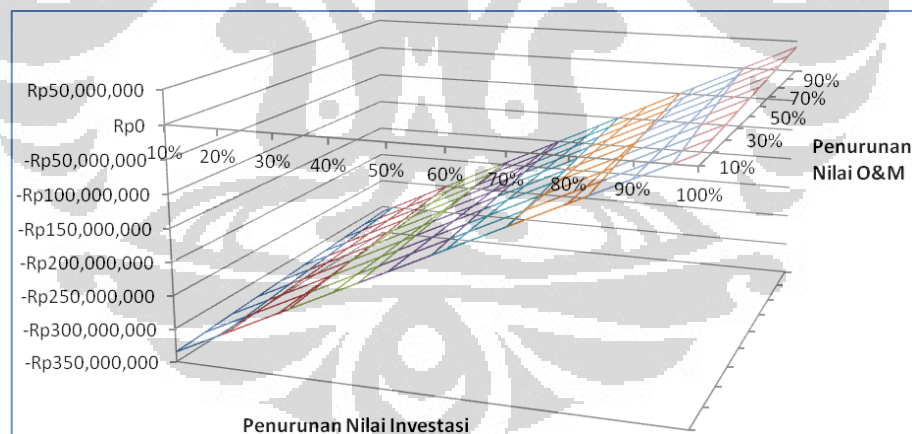
Keterangan: A = total daya yang dihasilkan selama umur proyek

$$\text{CRF} = \text{capital recovery factor} \frac{i \times (1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$$



**Gambar 4.9** NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori A Sistem PLTS dengan Baterai

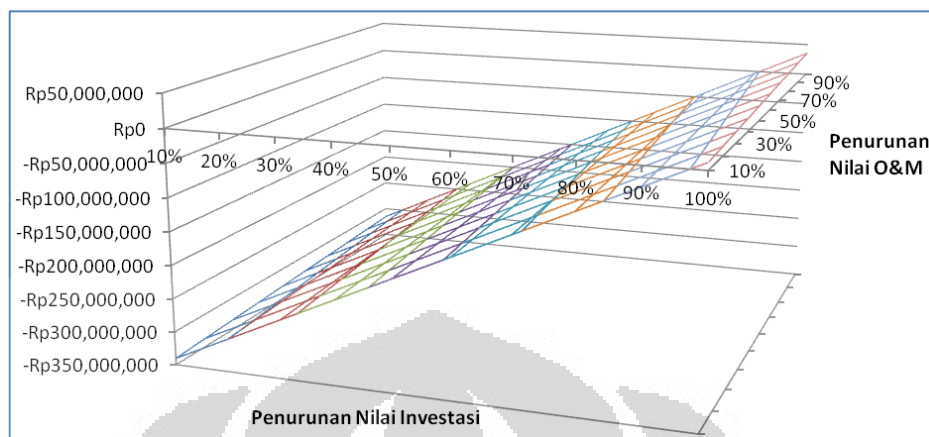
Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik pertama menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 100% dan penurunan nilai operasional dan pemeliharaan sistem sebesar 10% yaitu nilainya sebesar Rp. 9.794.090,-. Apabila mengikuti metode LCOE maka nilai NPV bisa mencapai Rp. 34.855.365,-.



**Gambar 4.10** NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori B Sistem PLTS dengan Baterai

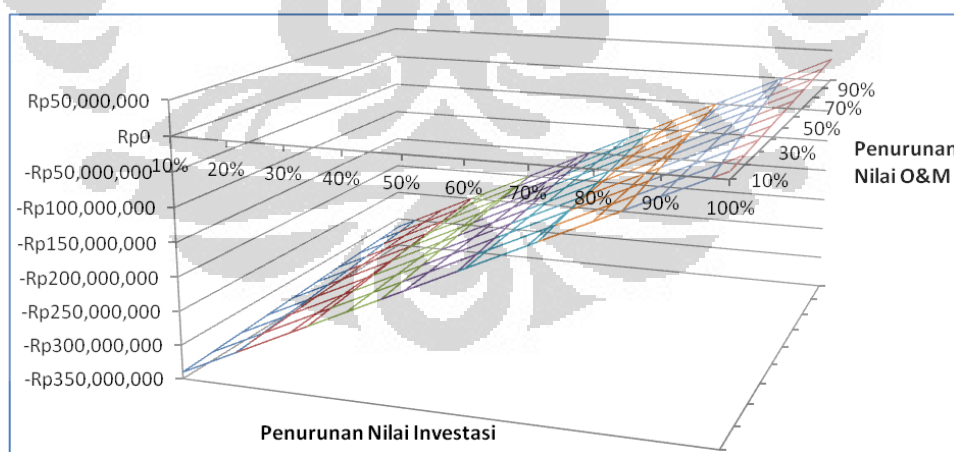
Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik kedua menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 90% dan penurunan nilai operasional dan pemeliharaan sistem sebesar 100% yaitu nilainya sebesar Rp.

1.470.133,-. Apabila mengikuti metode LCOE maka nilai NPV bisa mencapai Rp. 40.424.374,-.



**Gambar 4.11** NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori C Sistem PLTS dengan Baterai

Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik ketiga menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 100% dan penurunan nilai operasional dan pemeliharaan sistem sebesar 10% yaitu nilainya sebesar Rp. 10.310.053,-. Apabila mengikuti metode LCOE maka nilai NPV bisa mencapai Rp. 35.371.328,-.



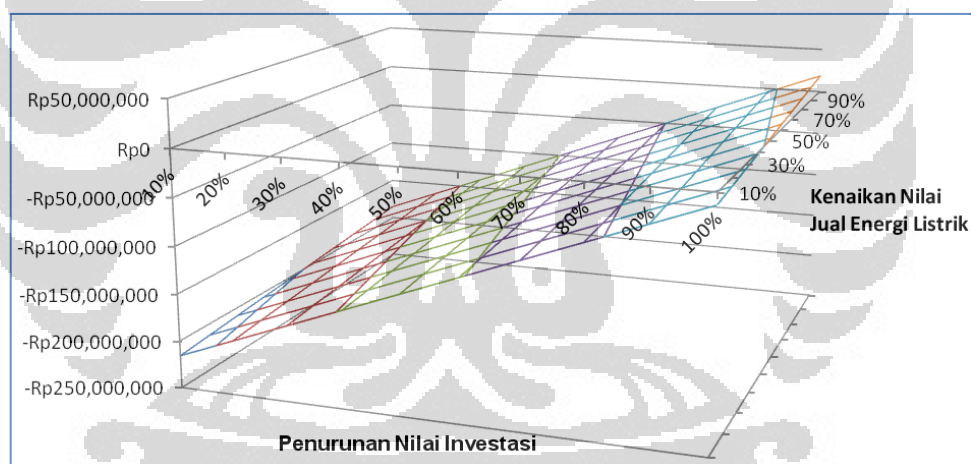
**Gambar 4.12** NPV Versus Penggabungan Investasi dan O&M Rumah Kategori D Sistem PLTS dengan Baterai

Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik ketiga menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat

terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 100% dan penurunan nilai operasional dan pemeliharaan sistem sebesar 10% yaitu nilainya sebesar Rp. 10.310.053,-. Apabila mengikuti metode LCOE maka nilai NPV bisa mencapai Rp. 35.371.328,-.

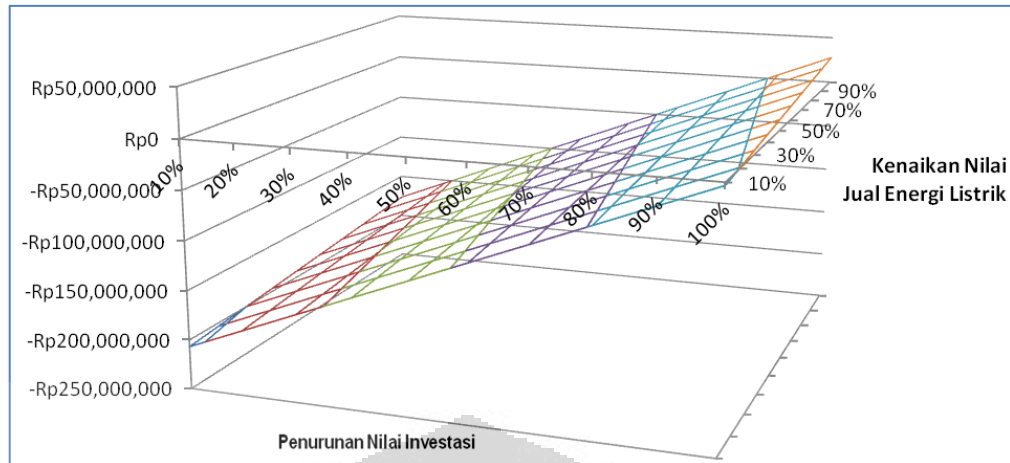
#### 4.2.5.2 Pengaruh Perubahan 2 Komponen Terhadap Nilai NPV Untuk Sistem PLTS Tanpa Baterai

Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan untuk melihat perubahan nilai NPV untuk rancangan sistem PLTS tanpa baterai. Pada analisis sensitivitas ini, perubahan nilai NPV dihitung dari kombinasi penurunan harga investasi dan kenaikan harga jual listrik dari sistem PLTS ke PLN. Hal ini melihat dari kemiringan garis perubahan NPV karena perubahan kedua komponen ini pada gambar grafik 2 dimensi di subbab sebelumnya, maka hal itu berarti bahwa kedua komponen alur kas inilah yang paling sensitif atau mempengaruhi nilai NPV.



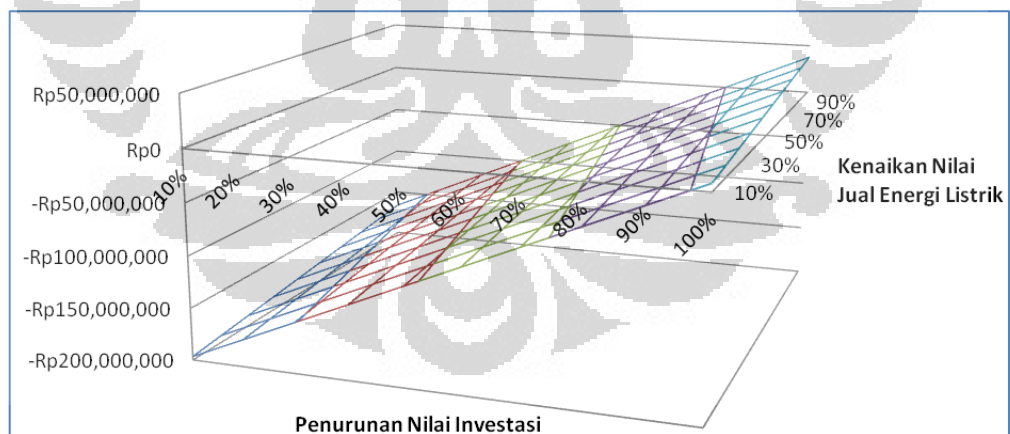
**Gambar 4.13** NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori A Sistem PLTS tanpa Baterai

Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik pertama menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 100% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS ke PLN sebesar 50% yaitu nilainya sebesar Rp. 1.788.249,-. Nilai tertinggi NPV mencapai Rp. 18.686.722,- saat terjadi penurunan nilai investasi awal sebesar 100% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS sebesar 100%.



**Gambar 4.14** NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori B Sistem PLTS tanpa Baterai

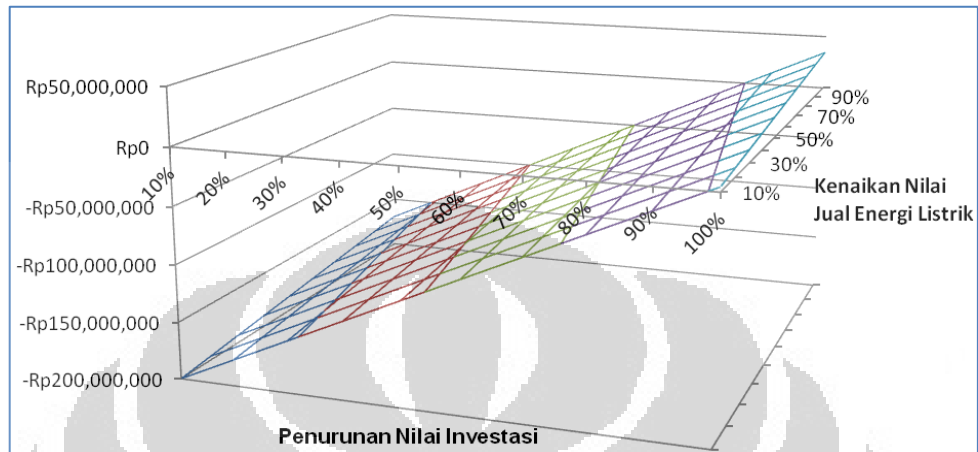
Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik kedua menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 100% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS ke PLN sebesar 90% yaitu nilainya sebesar Rp. 1.524.517,-. Nilai tertinggi NPV mencapai Rp. 27.562.613,- saat terjadi penurunan nilai investasi awal sebesar 100% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS sebesar 100%.



**Gambar 4.15** NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori C Sistem PLTS tanpa Baterai

Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik ketiga menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 90% dan kenaikan nilai harga

jual listrik dari sistem PLTS ke PLN sebesar 60% yaitu nilainya sebesar Rp. 1.503.634,-. Nilai tertinggi NPV mencapai Rp. 37.680.814,- saat terjadi penurunan nilai investasi awal sebesar 100% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS sebesar 100%.



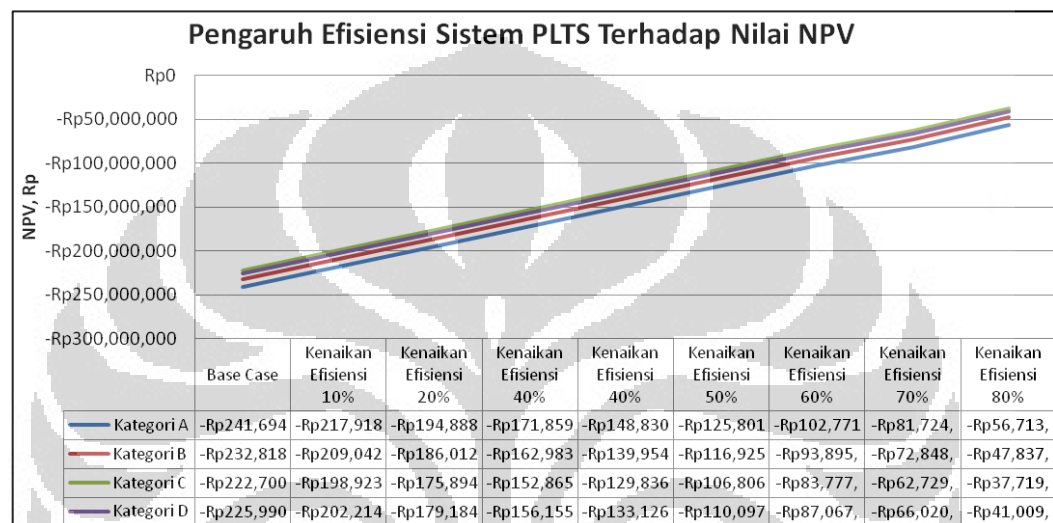
**Gambar 4.16** NPV Versus Penggabungan Investasi dan Harga Jual Listrik Rumah Kategori D Sistem PLTS tanpa Baterai

Untuk hasil analisis sensitivitas yang dilakukan pada grafik keempat menunjukkan hasil bahwa nilai optimal NPV mencapai titik kelayakan adalah saat terjadi penurunan nilai biaya investasi awal sebesar 90% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS ke PLN sebesar 70% yaitu nilainya sebesar Rp. 1.593.125,-. Nilai tertinggi NPV mencapai Rp. 31.010.916,- saat terjadi penurunan nilai investasi awal sebesar 100% dan kenaikan nilai harga jual listrik dari sistem PLTS sebesar 100%.

#### 4.2.6 Pengaruh Perubahan Efisiensi Sistem PLTS Terhadap Nilai NPV

Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan untuk melihat seberapa pengaruh nilai dari kenaikan efisiensi sistem PLTS terhadap perubahan nilai NPV dari setiap alur kas untuk seluruh kategori rumah. Panel surya yang dikembangkan sampai saat ini mencapai nilai efisiensi terbesar di angka 18%-20%. Adapun sebenarnya bila dibandingkan dengan mesin-mesin sistem pembangkit listrik lainnya, komponen sistem PLTS ini yang menjadi jalan masuk energi matahari masuk dan kemudian bisa diubah menjadi energi listrik, sangatlah kecil. Seperti contohnya mesin pembakar *landfill gas* untuk menghasilkan energi listrik yang

digunakan pada pembangkit listrik tenaga sampah sudah mencapai efisiensi di angka 84,2%. Karena itu, analisis sensitivitas ini dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh nilai perubahan efisiensi sistem PLTS terhadap nilai NPV yang dilakukan dengan kondisi *base case*. Analisis sensitivitas ini hanya dilakukan untuk sistem PLTS tanpa baterai karena dalam sistem PLTS jenis ini terlihat seberapa besar listrik yang dihasilkan sistem yang kemudian bisa untuk dijual ke PLN dan terlihat nilai *cash-in* yang didapatkan.



**Gambar 4.17** NPV Versus Efisiensi Sistem PLTS dengan Baterai

Dari grafik di atas terlihat bahwa kenaikan nilai efisiensi sistem sampai 80% ternyata belum membuat nilai NPV mencapai titik kelayakannya. Dari grafik juga terlihat bahwa nilai NPV dari alur kas untuk rumah kategori C adalah yang paling besar diantara nilai NPV lainnya yaitu -Rp. 37.719.196,-. Hal ini terjadi karena tipe rumah ini paling kecil kebutuhan listrik yang digunakan jadi energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS pada siang hari dapat dijual dapat menutupi biaya listrik yang dibeli untuk kebutuhan listrik rumah pada malam hari ditambah biaya operasional dan pemeliharaan sistem setiap tahunnya. Adapun analisis sensitivitas ini dilakukan hanya dihitung sampai kenaikan efisiensi sistem 80% karena dengan kenaikan sebesar itu, sistem PLTS sudah mencapai efisiensi 95%. Sebuah sistem pembangkit belum ada yang bisa menghasilkan energi secara akurat 100%.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Hasil dari keseluruhan dari penelitian mengenai pemanfaatan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk di Perumahan Cyber Orchid Town Houses adalah sebagai berikut.

- Rancangan teknis sistem PLTS yang ingin dikembangkan dalam perumahan ini adalah sistem PLTS berdaya 1,1 kW dan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 10,95 kWh/hari atau 3.997 kWh/tahun. Komponen panel surya dirancang untuk diletakkan di bagian atap rumah dengan kemiringan 25°. Untuk itu, seluruh rumah di perumahan ini dibagi menjadi 4 kategori sesuai arah bangunan dan tipe rumah.
- Hasil dari perhitungan pengolahan data awal secara keseluruhan untuk rancangan sistem PLTS di perumahan ini adalah tidak layak secara ekonomi karena tidak memberikan nilai keuntungan selama 25 tahun proyeksi alur kas (sesuai *life time* komponen sistem PLTS). Hal ini disebabkan karena nilai investasi awal sistem yang sangat besar namun setiap tahunnya *cost saving* yang sangat kecil.
- Hasil dari analisis sensitivitas 2 dimensi untuk kategori rumah tipe 85 arah bangunan utara-selatan adalah nilai NPV yang paling positif sebesar Rp.7.009.504,- dari sistem PLTS menggunakan baterai. Nilai NPV tersebut didapat ketika nilai investasi dapat turun 100% (mendapatkan insentif 100% untuk investasi awal sistem). Sedangkan dari analisis sensitivitas 3 dimensi menghasilkan titik kelayakan NPV berada di angka Rp. 9.794.090,- dari sistem PLTS tanpa baterai. Hal ini terjadi saat nilai investasi dapat turun 100% dan nilai jual listrik dapat naik 10%.
- Hasil dari analisis sensitivitas 2 dimensi untuk kategori rumah tipe 85 arah bangunan barat-timur adalah nilai NPV yang paling positif sebesar Rp. 12.578.514,- dari sistem PLTS menggunakan baterai. Nilai NPV tersebut didapat ketika nilai investasi dapat turun 100% (mendapatkan insentif 100% untuk investasi awal sistem). Sedangkan dari analisis sensitivitas 3



dimensi menghasilkan titik kelayakan NPV berada di angka Rp. 1.470.133,- dari sistem PLTS tanpa baterai. Hal ini terjadi saat nilai investasi dapat turun 90% dan nilai jual listrik dapat naik 100%.

- Hasil dari analisis sensitivitas 2 dimensi untuk kategori rumah tipe 40 arah bangunan utara-selatan adalah nilai NPV yang paling positif sebesar Rp. 7.527.467,- dari sistem PLTS menggunakan baterai. Nilai NPV tersebut didapat ketika nilai investasi dapat turun 100% (mendapatkan insentif 100% untuk investasi awal sistem). Sedangkan dari analisis sensitivitas 3 dimensi menghasilkan titik kelayakan NPV berada di angka Rp. 10.310.053,- dari sistem PLTS tanpa baterai. Hal ini terjadi saat nilai investasi dapat turun 100% dan nilai jual listrik dapat naik 10%.
- Hasil dari analisis sensitivitas 2 dimensi untuk kategori rumah tipe 40 arah bangunan barat-timur adalah nilai NPV yang paling positif sebesar Rp. 7.527.467,- dari sistem PLTS menggunakan baterai. Nilai NPV tersebut didapat ketika nilai investasi dapat turun 100% (mendapatkan insentif 100% untuk investasi awal sistem). Sedangkan dari analisis sensitivitas 3 dimensi menghasilkan titik kelayakan NPV berada di angka Rp. 10.310.053,- dari sistem PLTS tanpa baterai. Hal ini terjadi saat nilai investasi dapat turun 100% dan nilai jual listrik dapat naik 10%.

## 5.2. Saran

Penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu untuk pengembangan penelitian ini di masa mendatang dapat melakukan:

- Pembahasan lebih rinci mengenai aspek-aspek lainnya (contohnya aspek pasar, aspek lingkungan dan lainnya) yang bisa menjadikan rancangan sistem PLTS untuk rumah ini bisa menjadi layak diimplementasikan.
- Pembahasan untuk melihat tingkat kelayakan dari implementasi sistem PLTS di tempat lain selain di perumahan.
- Pembahasan untuk melihat kemungkinan penggabungan sistem PLTS dan sistem pembangkit listrik dari energi baru terbarukan lainnya yang bisa diterapkan di Indonesia.

## DAFTAR REFERENSI

- Ahmad, G.E. (2002). *Photovoltaic-Powered Rural Zone Family House in Egypt*. Pergamon: Renewable Energy 26 (379-390).
- Al-Salaymeh, A., dkk. (2010). *Technical and economical assessment of the utilization of photovoltaic systems in residential buildings: The case of Jordan*. Elsevier: Energy Conversion and Management 51 (1719–1726).
- Anisa, Prashanti Amelia, (2010). *Analisa Keekonomian dan Kebijakan Fiskal Terhadap Daya Saing Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi* (Unprinted Skripsi Departemen Teknik Industri). Depok: Universitas Indonesia.
- Astawa, K.S. (2011, 4 April). “Goodwill” untuk Kembangkan “Renewable” Energi. Diperoleh 16 April 2012 dari [www.balipost.co.id](http://www.balipost.co.id)
- Badan Pusat Statistik. (2009). *Ekonomi dan Perdagangan*. Diperoleh 10 Februari 2012 dari [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)
- Foster, Robert, dkk. (2010). *Solar Energy Renewable Energy and The Environment*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2009). *Master Plan Pembangunan Ketenagalistrikan 2010 s.d. 2014*. Diperoleh 14 Maret 2012 dari <http://www.djlpe.esdm.go.id>
- Kaltschmitt, Martin, dkk. (2007). *Renewable Energy: Technology, Economic and Environment*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kusumawardhani, Deni. (2009). *Emisi CO2 dari Penggunaan Energi di Indonesia: Perbandingan Antar Sektor*. Jurnal Ekonomi dan Bisnis Vol. 8 No. 3 (176-187).
- Lazou, A.A dan A.D Papatsoris. (2000). *The Economics of Photovoltaic Stand-Alone Residential Households: A Case Study for Various European and Medditeranean Locations*. Solar Cell Energy Material and Solar Cells 62 (411-427).
- Messenger, R.A. dan Jerry Ventre. (2005). *Photovoltaic System Engineering 2<sup>nd</sup> Edition*. Boca Rotan: CRC Press LLC.
- Mintorogo, Danny Santoso. (2000). *Strategi Aplikasi Sel Surya Photovoltaic Cells pada Perumahan dan Bangunan Komersial*. Dimensi Teknik Arsitektur 28 (129-141).
- Muhammad-Sukki, Firdaus, dkk. (2011). *An Evaluation of The Installation of Solar Photovoltaic in Residential Houses in Malaysia: Past, Present and Future*. Elsevier: Energy Policy Journal 39 (7975-7987).
- Patel, M.R. (1999). *Wind and Solar Power System 2<sup>nd</sup> Edition*. Boca Rotan: CRC Press LLC.
- PT. Azet Surya Lestari. (2008). *Informasi Umum PLTS*. Diperoleh 8 Mei 2012 dari [www.azetsurya.com](http://www.azetsurya.com)
- Purba, Radiks. (1997). *Analisis Biaya dan Manfaat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding Renewable Energy*. London: Earthscan.
- Rahardjo, Amien, dkk. (2008). *Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya Pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi Sebagai Bangunan Hemat Energi*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008, Universitas Lampung.

- Ramadhan, Mohammad. (2011). *The Cost Benefit Analysis of Implementing Photovoltaic Solar System in the state of Kuwait*. Elsevier: Renewable Energy 36 (1272-1276).
- Romasindah, Karlina. (2008). *Optimasi Kinerja Panel Surya Melalui Pengaturan Susunan Panel Sebagai Sun Shading untuk Menekan Biaya Listrik Bangunan* (Unprinted Tesis Departemen Arsitektur). Depok: Universitas Indonesia.
- Strong, S.J. (1987). *The Solar Electric House: A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power System*. Pennsylvania: Rodale Press.
- Supriyadi, Marcus. (2011, 18 November). *Di Kebumen, Satu Meteran Listrik Dipakai Tiga Rumah*. Diperoleh 27 Februari 2012 dari [www.kompas.com](http://www.kompas.com)
- Sutrisna, Kadek Fendy dan Ardha Pradikta Rahardjo. (2011, 16 April). *Pembangkit Listrik Masa Depan Indonesia*. Diperoleh 6 Maret 2012 dari <http://indone5ia.wordpress.com>
- Tanudjaja, Indrawan. (2010). *Dasar-dasar Operasi Inverter*. Diperoleh 14 Mei 2012 dari [www.solarcellspanel.com](http://www.solarcellspanel.com)
- Tarquin, Blank. (2005). *Engineering Economy 6<sup>th</sup> Edition*. New York: McGraw Hill.

